

# Materiales edificatorios en una construcción industrializada ecológica

## *Building Materials in an Ecological Industrialized Construction*

Joan-Lluís Zamora i Mestre <sup>a \*</sup>

<sup>a</sup> Dr. Arquitecto. Departament de Construccions Arquitectòniques I. E.T.S. de Arquitectura del Vallès. Universitat Politècnica de Catalunya

### Resumen

La construcción industrializada no es aún una realidad plena en el Estado Español, aunque existen ejemplos concretos y puntuales de algunos logros. La mayoría de las realizaciones en edificación que se califican de industrializadas son logros realizados con tecnologías avanzadas desarrolladas en el sector de los bienes de consumo. En medio de esta situación, las nuevas exigencias que plantea la sostenibilidad han irrumpido con mucha fuerza y urgencia. Sin embargo, dado su carácter transversal y universal, afectarán a todos los procesos y constituyen un reto para todo el sistema. Esta irrupción en medio de un sector actualmente en crisis financiera y en lenta transición hacia la industrialización plantea tres grandes retos: (i) desarrollar unas tecnologías nuevas y específicas para hacer frente a los retos de la sostenibilidad dado que las actuales deben ser remodeladas o abandonadas progresivamente, (ii) dotar a estas tecnologías de un soporte industrializado que las haga eficientes y asequibles, (iii) y generar un sector económico capaz de proporcionar habitabilidad.

*Palabras clave:* Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Materiales Renovables, Reducción de los Residuos Materiales, Materiales Reciclados, Productos de Construcción, Sistemas Constructivos

### Abstract

Even though there are specific and occasional examples of certain achievements, industrialized construction is not yet a full reality in the Spanish State. Most of these achievements in building construction classified as industrialized works are made with advanced technologies developed in the consumer goods sector. In this situation, the new requirements established by sustainability have erupted strongly and urgently. However, considering its transversal and universal character, they will affect all the processes and constitute themselves an objective for the whole system. This burst into a sector with a current financial crisis and a slow transition towards the industrialization sets out three main challenges: (i) the development of new and specific technologies to meet the challenges of sustainability since the current technologies should be remodelled or abandoned progressively, (ii) providing these industrial technologies with support that makes them more efficient and affordable, and (iii) generating an industry capable of providing habitability.

*Keywords:* Life Cycle Assessment (LCA), Renewable Materials, Waste Materials Reduction, Recycled Materials, Building Products and Systems

## 1. Introducción

Abordar una disertación actual sobre los materiales propios de la edificación, ante la perspectiva de una construcción industrializada y ecológica, requiere de un protocolo de aproximación a la cuestión.

En primer lugar, contextualizar la relación entre materia y arquitectura, que viene desde muy antiguo pero que nunca antes había estado tan marcada por las actuales circunstancias económicas y ambientales.

En segundo lugar, establecer las bases comunes que permiten atribuir a cada uno de los conceptos:

habitabilidad, industria y sostenibilidad, ser en cada caso FIN, MEDIO y REQUISITO.

En tercer lugar, actualizar la disciplina de la habitabilidad. En su concepción más decimonónica ha constituido un sólido freno disciplinar al deterioro imparable del hábitat privado humano tal como aún se aprecia en amplias zonas urbanas del planeta. En su actual concepción pretende abarcar también los aspectos sociales y productivos relacionados con las personas a los que la arquitectura y la ciudad prestan soporte físico.

En cuarto lugar, intentar delimitar el concepto actual de industrialización. Muy a menudo los arquitectos utilizamos

\* joan.lluis.zamora@upc.edu

Citar como: Zamora i Mestre, J.L. (2012). Materiales edificatorios en una construcción industrializada ecológica. En R. Hernández\_Minguillón, O. Irulegi, M. Aranjuelo\_Fernández-Miranda (Eds.), *Arquitectura Ecoeficiente* (Tomo I, pp. 224 - 249). San Sebastián, España. Editorial de la UPV/ EHU

este concepto de forma reductiva como sinónimo de mecanización. Pero industrializar no es en sí un medio sino un método para proporcionar los bienes materiales que precisamos, pero que trasciende por mucho los medios tecnológicos que en cada momento lo han hecho posible. Inicialmente fue la mecánica, ahora tal vez es la electrónica y en el futuro se apunta como base técnica predominante la biotecnología o la fotónica.

En quinto lugar, abordar el concepto de sostenibilidad material de una forma más serena y profunda, analizando mejor la forma y funcionamiento de todo lo que nos rodea para proponer desde la arquitectura nuevas opciones creativas pero con una responsabilidad ambiental más trascendental.

En sexto lugar, retomar la posición central del arquitecto como prescriptor de materiales, focalizándose en el reconocimiento de su posición principal como gestor de materiales y regulador de flujos ambientales.

En séptimo lugar, reconocer el propio carácter oportunista de la construcción y las reglas técnicas en que se basa la oportunidad. Nunca se ha construido igual, ni en el tiempo ni en el espacio, porque las disponibilidades de materia, energía y conocimiento han sido siempre dispares. La constructibilidad intenta buscar las bases cognoscitivas de este oportunismo.

En octavo lugar, aventurar qué vectores de evolución van a prefigurar las propiedades futuras de los materiales de construcción y que ya deben incidir en los procesos constantes de toma de decisiones.

Finalmente, y para ilustrar este discurso de carácter reflexivo, se presenta a título de experiencia, el resultado de un proyecto de innovación impulsado por la firma de arquitectos b720 bajo la dirección del arquitecto Pablo Garrido, con el apoyo del CDTI, orientado al desarrollo de un prototipo de fachada ligera y modular de bajo impacto ambiental. El grupo LiTA (Laboratori d'innovació i Tecnologia a l'Arquitectura) de la Universitat Politècnica de Catalunya, junto con la consultoría Societat Orgànica bajo la coordinación del arquitecto Gerardo Wadel, se responsabilizaron de la aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para, desde el punto de vista de la prescripción ambientalmente responsable de los materiales, reducir al máximo el impacto ambiental de este prototipo de fachada que está enmarcado en una tipología de fachadas reconocida socialmente por su alto grado de industrialización. El proyecto contó a lo largo de su desarrollo con la participación de importantes firmas comerciales que colaboraron de forma entusiasta con el esfuerzo personal de sus equipos de I+D.

### 1.1. Materia

El resultado físico de la arquitectura, que son los edificios, es la suma inteligente de tres recursos principales: materia, energía y conocimiento.

El film “¿Cuánto pesa su edificio, Sr. Foster?” dirigido por Norberto López Amado y Carlos Caracas, estrenado en 2010, en su título pone énfasis en este aspecto de la ligereza y la liviandad, parámetro que parece asociado a la

arquitectura moderna. Sin embargo, todos los estudios realizados acreditan que los edificios convencionales tienden cada vez a pesar más por m<sup>2</sup> de superficie útil. Ello es así probablemente por:

- el aumento de sus prestaciones,
- el incremento de la densidad de los materiales empleados, especialmente los asociados a funciones de resistencia,
- el aumento de su complejidad (más instalaciones, cimentaciones más desarrolladas, mayor estanqueidad, etc.).



Fig. 1. Fotografía de puesto de venta de productos de construcción en una esquina de la ciudad de Hanoi (Vietnam). Enero 2009. Fuente propia.

### 1.2. Energía

Se conoce con cierto detalle (gracias a los contadores que implantan las empresas de suministro de fluidos urbanos) el consumo energético de los edificios, de forma más o menos diferenciada o agregada, pero aún sabemos poco del monto de la energía invertida en todo el proceso de su construcción, desde la extracción de las materias primeras hasta el día de la inauguración. Una experiencia singular en este aspecto es el proyecto Sirena [1] que implantó la UPC.

### 1.3. Conocimiento

No se tienen noticias ciertas de cómo se podría medir la complejidad de un edificio de forma cierta. En este momento de la sociedad digital parece que la unidad más adecuada es el byte, puesto que es la unidad habitual que mide la información. Indirectamente los edificios, en su fase de proyecto, están formados por una documentación que los describe y ésta puede ser actualmente pesada en bytes.

Hasta hace poco más de 150 años, los tres factores citados eran notablemente limitados en su extensión y muy lentos de obtener, por lo que la evolución de las técnicas edificatorias al servicio de la arquitectura fue muy pausada a lo largo de los siglos, especialmente si se la compara con la velocidad actual. Las fuentes disponibles de materia, energía y conocimiento eran prácticamente locales por lo que la arquitectura resultante tenía un elevado componente local. Con el inicio de la revolución industrial en Occidente esta situación se modifica substancialmente:

- la materia puede ser extraída, transformada y transportada en grandes cantidades y a grandes distancias,
- la energía puede ser también obtenida, transformada y transportada en grandes cantidades y a grandes distancias,
- el conocimiento, gracias a la diversificación y masificación de los medios de comunicación (prensa, radio, teléfono, etc.) puede viajar a grandes distancias, con gran rapidez y difundirse simultáneamente a los colectivos de profesionales técnicos.

Ante este radical cambio en la disponibilidad de los tres factores citados, la arquitectura que se producirá en el siglo XX va a ser sensiblemente distinta: edificios de mayores dimensiones, construidos más deprisa, con incorporación creciente de materiales sintéticos y nuevas técnicas constructivas que sustituirán muy rápidamente al anterior conocimiento constructivo de raíz tradicional atesorado durante siglos.

Este proceso de transformación del sector de la edificación no se ha detenido todavía y la comunidad del sector de la edificación continúa abogando en público y en privado por una mayor e intensa industrialización del sector, puesto que ésta no ha alcanzado aún su total plenitud, como ya se ha producido en el sector de los bienes de consumo.

Sin embargo, en este camino de transformación se ha presentado de forma aparentemente no prevista una nueva circunstancia determinante y que es transversal a los tres factores citados anteriormente: la sostenibilidad, exigencia explícitamente planteada tal como aparece definida en el informe Brundtland de las NNUU de 1987 [2].

En este informe, cuyo contenido y alcance afecta a todas las áreas de la actividad humanas, se hace patente que el planeta Tierra es finito, que la población es creciente, que las aspiraciones de esta población también lo son y que todas las actividades que en él se desarrollan sólo podrán seguir produciéndose (desarrollo durable) en la medida en que sean “sostenibles”, es decir, que no comprometan su continuidad futura. Para un colectivo como la humanidad que aún toma sus decisiones sobre la marcha y según la escala de la memoria de las personas que lo componen, resulta un reto analizar nuestras decisiones actuales a la luz de su continuidad más allá de nuestra esperanza de vida particular.



Fig. 2. Fotografía de obra en marcha en la ciudad de Berlín (mayo 2009).  
Fuente propia.



Fig. 3. Fotografía de obra en marcha en Senegal (julio 2009).  
Fuente propia.

## 2. Contextualización

Ante esta situación actual los proyectistas de arquitectura deben adquirir consciencia global de las repercusiones de sus decisiones y por ello necesariamente, reconsiderar su proceso de toma de decisiones (reducción de incertidumbres) en cualquier nuevo proyecto para acomodarlo a esta nueva situación de consciencia y actuar con una mayor responsabilidad social.

Cuando un arquitecto traza una línea en un dibujo y adjudica a esa línea un valor material (pared, techo, aplacado, conducto, etc.), inmediatamente en algún lugar incierto y alejado de nuestro planeta se moviliza como



consecuencia un complejo proceso técnico y económico consistente en:

- extracción y transporte de materias primas hacia las plantas de transformación,
- transformación inicial de las materias primas y almacenamiento como pre-elaborados,
- transporte de los pre-elaborados hasta las factorías de elaborados, donde se convertirán en productos de la construcción y se estocaran hasta su distribución,
- ensamblaje de los productos para formar sistemas constructivos, bien en talleres de post-elaboración o bien a pie de obra.

A lo largo de esta cadena de acciones, se ha ido valorizando la materia mediante la incorporación de energía y conocimiento hasta conseguir unos elementos constructivos altamente especializados y con altas prestaciones. Por el camino recorrido se han ido dejando multitud de residuos gaseosos, líquidos y sólidos que son expulsados de la cadena de valorización y aparcados en vertederos para su confinamiento.

Al cabo de poco tiempo, nuestra rápida, ejecutiva y pragmática sociedad derriba total o parcialmente el edificio construido con aquellos productos, retirando por derribo la materia desvalorizada y trasportándola hasta un vertedero para su confinamiento.

El resultado obtenido a corto plazo ha sido altamente eficaz y ha permitido atender con rapidez las necesidades de edificación de buena parte de la población de nuestro planeta, especialmente motivados por las guerras mundiales y los extraordinarios procesos de emigración y concentración urbana. Sin embargo, esta práctica ha empezado a encontrar sus propios límites y está en peligro su propia continuidad:

- no es sostenible porque las cifras indican que no satisface aún las necesidades de toda la población del planeta sino sólo de una parte de ella,
- no es sostenible porque las fuentes de energía y materia más fácilmente disponibles se van agotando y el coste económico de su disponibilidad va creciendo sin detenerse, limitando su uso universal,
- no es sostenible porque en poco tiempo, toda la materia, junto con el conocimiento y la energía aplicada a su transformación y valorización, acaba confinada en un vertedero, almacenada de tal forma que no se puede volver a utilizar.

Para ser más conscientes de esta dinámica se recomienda consultar una reciente Tesis Doctoral [3] donde se analiza, mediante el método de análisis de flujos, cuál ha sido recientemente la dinámica cuantitativa de los materiales de la construcción, considerando como ámbito físico el de la provincia de Lérida.



Fig. 4. Fotografía de una cantera en explotación en la provincia de Burgos. Fuente propia.



Fig. 5. Fotografía de sacos de cemento cola acopiados en una obra de rehabilitación. Fuente propia.

### 3. Bases

Proporcionar habitabilidad a los ciudadanos, sus pertenencias y sus actividades, continúa siendo el FIN de la arquitectura y lo que justifica la existencia y continuidad de esta disciplina. Para ello, los arquitectos aplican todos sus conocimientos disponibles provenientes de las áreas científicas, técnicas, sociales y artísticas.

La industrialización de la edificación se presenta actualmente como el mejor MEDIO para alcanzar dicha habitabilidad puesto que pone el acento en la definición de procesos intensivos y eficientes que permiten materializar dicha habitabilidad de forma que sea alcanzable por una mayoría de ciudadanos a un coste asequible.

La sostenibilidad se presenta como el REQUISITO indispensable para que esta actividad constructiva no cese, se renueve, crezca en complejidad y se despliegue de forma continuada según el patrón de la perdurabilidad.

Si se analiza someramente la actual actividad “industrial” del sector de la construcción de la arquitectura desde esta triple óptica, ésta se presenta como una actividad aún precaria e ineficiente, discontinua, con muchos “cabos sueltos” técnicos por resolver y que aborda sus conflictos a corto plazo, de forma local y parcial. Probablemente, la resolución de esta situación insatisfactoria no se puede alcanzar de forma inmediata y simple, ni tampoco puede encomendarse sólo a los arquitectos y a sus materiales. Se trata en definitiva de una pregunta que interpela a toda una sociedad.

La especialización y compartimentación del conocimiento ha hecho pensar a todos los ciudadanos que cada problema podía ser confinado y ser confiado a un experto que le aplicaba la solución más pertinente. La experiencia de las sucesivas crisis económicas, sociales y ambientales de la última década ha convencido, también a los arquitectos, que los problemas son terriblemente transversales a pesar de que la capacidad de intervención de cada técnico proyectista se limita siempre a un caso particular.

#### 4. Habitabilidad

La arquitectura construida debe proporcionar habitabilidad mediante la construcción de espacios materiales que se hallan dentro de los edificios o fuera de ellos. Al hablar de la habitabilidad que se presta fuera de los edificios se concierne a la ciudad y a los servicios de habitabilidad que ésta presta. El concepto de habitabilidad permanece pero aquello que comprende no es estable sino que evoluciona. Muy probablemente, el servicio de acceso a internet por *wi-fi* sería considerado por algunos colectivos como algo inherente a la habitabilidad espacial pero resulta evidente que su disponibilidad es relativamente reciente. La habitabilidad es un amparo amplio porque abarca la necesidad de satisfacer:

- necesidades, tanto privadas como sociales,
- funciones que las diferentes culturas van implementando,
- aspiraciones personales de los sujetos y de los colectivos con los que se sienten identificados.

Hoy en día conviven en nuestro planeta Tierra muchos modelos de habitabilidad, claramente diversos según la intensidad de recursos aplicada, su flexibilidad de reconfiguración, el grado de socialización, etc. No es el mismo servicio el que se presta a un enfermo que a un viajero que a un pescador en campaña en alta mar.

El reto futuro para la arquitectura en las próximas décadas será aportar a todos los ciudadanos una habitabilidad digna y accesible a la mayor cantidad de población y con la mayor eficiencia de recursos. A lo largo del día, en nuestra vida cotidiana transitamos por diversos edificios especializados (residencia, movilidad, trabajo, ocio, consumo, sanidad, educación, etc.) que nos prestan la habitabilidad necesaria para desarrollar diversas

actividades. El conjunto de m<sup>2</sup> de superficie arquitectónica al servicio de cada ciudadano crece constantemente junto con nuestras aspiraciones (bibliotecas, polideportivos, segunda residencia, etc.) y como consecuencia crece también la cantidad de material, energía y conocimiento que inmoviliza nuestra sociedad en forma de arquitectura. No se trata pues únicamente de un problema técnico sino también de un problema social.



Fig. 6. Fotografía interior de una cocina rupestre medieval en el sur de Francia. Fuente propia.



Fig. 7. Fotografía interior de una cocina actual. Fuente propia.



## 5. Industrialización

Los arquitectos tienden a identificar la industrialización con la apreciación de sus resultados (análisis anatómico) sin considerar sus flujos (reconocimiento fisiológico). Los flujos en la construcción tienden a ser discordantes y ello conlleva disfunciones en un sector que no es fácil de regular y acomodar. Los flujos de la producción industrial aspiran a ser constantes, como el ciclo del agua en los climas templados. Sin embargo, y siguiendo con el símil fluvial, los flujos del sector de la construcción se asemejan a menudo al ciclo del agua en los climas mediterráneos donde los periodos de sequía se alternan con las inundaciones.

Industrializar es aplicar un método sistemático y reiterativo a la producción de bienes o servicios para conseguir la mayor eficiencia posible, es decir, el mejor producto al mejor coste. Para ello es imprescindible:

- definir claramente el objetivo que se desea producir y con qué nivel de calidad y prestaciones,
- diseccionar, segregar y especializar los procesos de producción que conducen a ese objetivo,
- incorporar constantemente a dichos procesos nuevos conocimientos alternativos que permitan una mayor eficiencia.

Las formas que hasta ahora conocemos de industrialización (tecnologías intensivas, grandes producciones masivas, procesos ininterrumpidos, etc.) son sólo algunos ejemplos de formas de industrialización concretas que han prosperado en un entorno social marcado por:

- necesidades masivas y poco exigentes de bienes y servicios (como las que se producen tras una guerra o por una intensa emigración),
- tecnologías disponibles que son rígidas y muy intensivas en el uso de recursos,
- facilidad de transporte.

El éxito reciente y acreditado de estos modelos ya conocidos de industrialización ha perdurado mientras ha perdurado dicho entorno. En un nuevo entorno que se avecina lenta, pero inexorablemente, se modificará la facilidad actual de transporte, la rigidez de las tecnologías conocidas y las necesidades serán más cualitativas que cuantitativas. ¿Qué ha sucedido mientras tanto en el sector de la edificación?

El sector de la construcción es y ha sido, por naturaleza, poco masivo. La demanda es muy diferenciada y dispersa, las tecnologías para poder ser aplicadas "in situ" no pueden ser muy rígidas y el elevado peso de sus componentes constructivos no favorece, en la mayoría de los casos, el transporte a grandes distancias.

Todo ello ha propiciado que, salvo contadas excepciones en el tiempo y el espacio, la producción mayoritaria del sector de la edificación se haya reconfigurado

constantemente pero sin abordar de forma decidida y explícita una plena y profunda industrialización.

Las tecnologías aplicadas a la edificación son cada día más complejas (mayores conocimientos implicados), más eficaces (se alcanzan mayores logros) e intensivas en recursos (material, energía y tiempo) pero sin alcanzar una plena industrialización. Además, a ello se añade que los técnicos de cabecera del sector, los arquitectos, no son, por formación, expertos en industrializar procesos porque este método no ha estado presente en su formación académica y porque desde antaño su óptica está orientada al resultado final más que al proceso artificial que permite alcanzarlo. Mucha síntesis.

No existe pues un único escenario para la industrialización: en Europa y más concretamente en España, se plantea actualmente un nuevo escenario para la futura industrialización marcado por las siguientes características:

- no existen actualmente en el entorno inmediato europeo necesidades cuantitativas de habitabilidad, sino más bien cualitativas y además son de signo muy diversificado (población de edad más avanzada, mayor peso de la inmigración, nuevos modelos de trabajo y ocio, nuevas formas de convivencia familiar, etc.),
- la fácil disponibilidad de los actuales recursos básicos, tanto en materia como en energía, se verá pronto muy limitada (menos petróleo, menos dinero, menos agua, menor autoridad de Europa, etc.) y cada vez será más complejo extraer y transportar dichos recursos desde ubicaciones lejanas,
- la falta de un sistema común de conocimiento técnico compartido en el sector de la edificación, que le otorgue fiabilidad, flexibilidad y cohesión. Por este motivo al sector de la edificación le cuesta aprender de sus errores, le cuesta aprender de abajo a arriba (del operario al arquitecto) y también de arriba a abajo (del arquitecto al operario) y además le cuesta establecer alianzas estables que le impidan desangrarse en conflictos internos.

Si en nuestro entorno más próximo la demanda social de edificación está poco formada, si cuantitativamente es débil, si está atomizada y además se está reconfigurando rápidamente en sus necesidades y aspiraciones, es razonable pensar que las recetas más convencionales de la industrialización (producción masiva, continuada y rígida) no serán capaces de relevar inmediatamente la construcción más convencional basada principalmente en la tradición. Aquellas iniciativas industrializadas que aspiren a prosperar los próximos años deberán ser altamente innovadoras, flexibles y reconfigurables para pequeñas series.

Todos los que forman parte como eslabones de la cadena del sector de la construcción formulan la misma aspiración: industrializar el sector. Esta aspiración más bien parece un deseo de disfrutar de las mismas prebendas que los sectores industriales: trabajo continuado y bajo techo, en grandes series de productos de baja duración que son expedidos hacia cualquier parte del mundo.



Fig. 8. Fotografía de módulo de fachada ligera en taller, listo para su expedición hacia la obra. Fuente propia.



Fig. 9. Fotografía de adobes de arcilla en Senegal, listos para su expedición hacia la obra. Fuente propia.

Para alcanzar este escenario o uno asemejable hay que plantear una industrialización integral del proceso de producción de la arquitectura. No se puede industrializar por partes, hay que abordar los aspectos que se mencionan a continuación.

### 5.1. Industrialización del Proyecto

La elaboración de los proyectos de arquitectura continúa siendo una labor artesanal, intensa y esforzada por parte del autor, donde se toman importantes decisiones materiales en muy poco tiempo y sobre bases de conocimiento poco sólidas: ¿cuál es la demografía, el uso, la explotación, el medio físico, las alternativas, etc. que circunstan cada proyecto? Tal vez incluso ciertas cuestiones e informaciones debieran abordarse en la fase de encargo. Ello conlleva necesariamente que, finalmente, muchas obras de edificación cuesten más de lo previsto, se acaben tarde y no lleguen a satisfacer las expectativas de sus promotores.

### 5.2. Industrialización del proceso de construcción de la obra

Los procesos de construcción de las obras de edificación son aún, en general, lentos e ineficaces, generadores de ruido y residuos, poco precisos y necesitados de ulteriores repastos, ajustes y correcciones. Ello es así porque los tiempos muertos son muy elevados, porque no existe habitualidad de cooperación entre los participantes y porque en definitiva, están poco implicados mutuamente en la calidad final. La tendencia más común de las soluciones planteadas ha sido desviar el mayor número de actividades parciales hacia procesos en fábrica para reducir la obra a un mero ensamblaje de componentes acabados. Esta solución tiene como premio una mayor fiabilidad pero exige en contrapartida una intensa cooperación de los participantes a nivel de conocimientos en las fases previas al montaje, cooperación que demanda tiempo y liderazgo intelectual, recursos poco coincidentes en la construcción convencional.

### 5.3. Industrialización de la gestión de los edificios en fase de explotación

El actual parque edificado en explotación empieza a ser una entidad considerable desde el punto de vista volumétrico, material, social y energético. Este ingente entorno artificial, el denominado “medio construido”, no se está explotando ni gestionando de una forma armónica, coherente, ni con criterios profesionales. Sólo una mínima parte del millonario parque de edificios en el estado español está bajo las manos de técnicos profesionales cuyo objetivo es mantenerlos y administrarlos con criterios de explotación. El evidente volumen de edificios semivacíos, de uso intermitente o parcial, dispuestos de forma inconexa en el territorio, deteriorados y sin un futuro cierto, configuran una visión notable en nuestra geografía construida que merece un esfuerzo de estudio y puesta en valor semejante al que se aplica a otras infraestructuras como las asociadas a la salud, la movilidad o la educación. Un tratamiento adecuado de los edificios durante su ciclo de vida y unos planes de reconversión y reciclaje realistas permitirían generar una demanda técnica sobre el sector de la construcción no sólo en el momento de la construcción sino a lo largo de toda la vida de un edificio.

Tal vez el subsector productivo de la construcción menos industrializado es actualmente el de la rehabilitación. Ello dificulta notablemente su expansión, aun existiendo una demanda latente importante y cuantificada. Unos planes de reconversión y renovación realistas permitirían generar una demanda técnica sobre el sector de la construcción no sólo en el momento de la construcción sino a lo largo de toda la vida de un edificio.

### 5.4. Industrialización de los productos de construcción

Probablemente, el subsector de la edificación que más se ha industrializado ha sido el de la fabricación de los materiales y productos de construcción. El gran

conocimiento atesorado, las importantes inversiones realizadas, los intensos procesos de acreditación y homologación aplicados, el tejido empresarial y asociativo generado, etc. superan con mucho al resto de subsectores. Tal vez, ello ha sido motivado por su gran relación con industrias de otros estados y continentes que le han aportado capital, conocimiento y materias primeras.

### 5.5. La industrialización no se detiene

Así pues la industrialización alcanzada por la edificación es aún poco intensa, muy parcial y en progreso. Los ejemplos que se citan como industrialización son aún puntuales, efímeros y más bien trasposiciones de logros nacidos en la industria de bienes de consumo. Sin embargo, la industrialización no se detiene porque no es una meta de llegada sino un camino. La industrialización es, por definición, un proceso de mejora continuada. Las más modernas técnicas industriales de mejora continuada de procesos son las denominadas técnicas LEAN [4], orientadas a la mejora continua de procesos.

### 5.6. El salto de la innovación

El conocimiento técnico aplicado, inédito y substitutivo, ha sido el motor del desarrollo de los actuales productos de la construcción a lo largo del S. XX [5] [6]. Estos últimos siglos se han caracterizado en Occidente por el auge de la substitución de la tradición por la innovación. Hoy en día, cuando se compara el comportamiento de dos técnicas de diferente edad siempre se supone que, por la ley del progreso, la más reciente es siempre la más adecuada. Este prejuicio, plenamente arraigado en nuestra vigente admiración por todo lo que es nuevo, no ha sido, hasta hace relativamente poco, el valor predominante. La tradición contrastada y avalada por los profesionales senior estaba siempre por encima de las nuevas propuestas realizadas por los profesionales júnior que debían correr con la carga de la prueba. Los medios de comunicación de masas han jugado un importante papel en la modificación de las bases de este paradigma y también en los hábitos de prescripción de los técnicos de la edificación.

Para que el lector sea más consciente de la intensidad de la renovación que ha sufrido este sector se sugiere la consulta de un reciente Trabajo Fin de Máster (TFM) donde se estudia el archivo de proyectos de la promotora social de viviendas del Ayuntamiento de Barcelona desde la posguerra civil española hasta la actualidad con el fin de analizar el proceso de substitución de los sistemas constructivos tradicionales (el muro portante de obra de fábrica, la ventana de madera, el forjado de viguetas metálicas o los desagües de plomo) por los nuevos sistemas constructivos (estructuras porticadas de hormigón armado, ventanas de aluminio o desagües de PVC). El estudio aporta un interesante dato cuantitativo: en el periodo estudiado los edificios de viviendas (tipología acusada siempre de ser altamente refractaria a la innovación) han modificado totalmente dos veces todos sus elementos constructivos.

En los últimos 50 años los edificios de viviendas han visto renovarse totalmente su composición material, abandonando prácticamente en su totalidad el uso de los materiales próximos y accesibles que durante milenios han sido la principal fuente de suministro. Los productos que los han substituido están fabricados, en buena parte, con materiales lejanos tanto en superficie como en profundidad. La substitución constante y competitiva de un material por otro ha sido uno de las dinámicas más incesantes y recientes del sector, fuertemente auspiciada por la publicidad como rectora de la opinión [8].

Como referencia histórica, no publicada, pero si consultable en los archivos del Port de Barcelona, se recomienda el proyecto del Almacén de los Depósitos Comerciales de Barcelona del año 1881 del ingeniero Sr. Mauricio Garrán. Aparte de los acertados contenidos de este edificio, que en la actualidad puede ser visitado fácilmente, pues es la sede del Museo de Historia de Catalunya, se puede consultar toda la documentación original del proyecto. Especialmente en los textos escritos (memoria, mediciones, presupuesto y pliego de condiciones) se puede leer los intensos esfuerzos realizados por el autor del proyecto para encontrar, seleccionar, transportar y sufragar los materiales necesarios para la construcción. En un entorno de 130 años atrás, sin internet, sin marcas comerciales, sin autopistas, camiones ni prácticamente ferrocarriles, se cita en la memoria las gestiones realizadas por el ingeniero en los bosques del alto pirineo concertando a pie de bosque los árboles a talar y su transporte, fluvial y finalmente marítimo, hasta el puerto de Barcelona.

## 6. Construcción Sostenible

Los procesos productivos y los resultados artificiales finalmente generados por la construcción humana han de estar, como requisito, en sintonía o integración con los correspondientes procesos de la realidad natural del planeta para no interferirlos, entorpecerlos y evitar propiciar su deterioro irreversible.

Hasta hace muy poco la naturaleza era considerada por el hombre técnico como una caja que nos contenía pero que se presentaba como cerrada, inaccesible y de la que se recibían más agresiones que beneficios. El conocimiento técnico desarrollado por occidente a lo largo de la revolución industrial ha permitido desbloquear las cerraduras de esta caja y apoderarse directamente de sus recursos de capital para satisfacer nuestra habitabilidad. Sin embargo, la contabilidad ambiental nos está alertando que la velocidad con la que la humanidad se está apoderando de estos recursos y la torpeza con la que lo está haciendo está poniendo en seria duda la continuidad de este proceso. Las actuales tecnologías se basan en procesos finitos no renovables y deben ser substituidas los próximos años por tecnologías más adecuadas.





Fig. 10. Fotografía de edificio en construcción en Hanoi (Vietnam) con andamios de bambú. Fuente propia.



Fig. 11. Fotografía de planta de caña de bambú en Casamance (África Occidental). Fuente propia.

Pero el problema no es sólo cualitativo sino cuantitativo. El volumen de materia, energía y conocimiento que actualmente está en circulación en nuestro planeta es tan elevado que resulta difícil hallar, desarrollar y poner en explotación comercial nuevas tecnologías capaces de sustituir cuantitativamente a las actuales, detener así el deterioro y empezar a reintegrar el capital expoliado. Parece pues que las prácticas R (reducir, reutilizar y reciclar) deberán ser aplicadas en paralelo al desarrollo de las tecnologías de sustitución hasta que éstas puedan entrar en carga por sí mismas y proporcionar habitabilidad sin deteriorar el capital de recursos disponibles en el planeta.

El reto técnico que se plantea actualmente no es por tanto sólo alimentar la existencia y fomentar la creación, sino perdurar, es decir, construir con un vector de proyección en el futuro. Al proyectar y construir un edificio, la mayoría de los agentes implicados en su concepción y materialización sólo piensan en el día de su inauguración sin documentar su proyección al cabo de 20, 30 ó 50 años.

### 6.1. Reducir

El volumen de los recursos materiales y energéticos aplicados a la habitabilidad ha aumentado fuertemente y ha permitido alcanzar unas cotas de confort nunca antes soñadas. Sin embargo, este aumento de la intensidad de recursos movilizados está poniendo en peligro su propia continuidad: los datos aportados por los expertos alertan que no parece posible proporcionar la misma habitabilidad a todos los habitantes del planeta ni durante una infinidad de tiempo. ¿Es posible pues reducir esta intensidad y al mismo tiempo mantener la calidad de la habitabilidad, haciéndola accesible a más ciudadanos por más tiempo? ¿Es posible desmaterializar y *desenergizar* la construcción de la arquitectura sin afectar la calidad de la habitabilidad prestada? ¿Esta reducción debe realizarse en los diversos procesos unitarios de producción de la habitabilidad (soluciones tecnológicas), uno a uno, o en los procesos de explotación (soluciones de gestión)? En general, las altas intensidades de materia y energía asociadas a los procesos actuales de producción contrastan con las bajas intensidades de los procesos de explotación (¿cuánto tiempo se está en cada edificio?, ¿cuánto tiempo se viaja diariamente en automóvil?, ¿cuánto tiempo al mes usamos cada camisa?).

En general, los procesos de producción habituales tienden a ser “económicos” (ajustados monetariamente) pero no necesariamente los procesos de consumo final por parte de los ciudadanos. Los tiempos de uso real, en términos absolutos, tienden a ser bajos en comparación con los tiempos iniciales de elaboración y finales de reciclado. Por tanto, probablemente los procesos de reducción deberán abordarse a diferentes escalas:

- *macroreducción* (a nivel de edificio),
- *mesoreducción* (a nivel de sistema constructivo),
- *microreducción* (a nivel de material).





Fig. 12. Conjunto religioso rupestre en la provincia de Burgos.  
Fuente propia.



Fig. 13. Fotografía de conjunto al anochecer del edificio Seagram.  
Fuente propia.

## 6.2. Reciclar

Hasta la actualidad, la actividad del hombre constructor, “*Homo Faber*”, ha consistido siempre en transformar la realidad de los materiales en una misma dirección, como si de un “*Big Bang*” se tratara. Sin embargo, el modelo que aplica la naturaleza en el planeta Tierra en el que estamos instalados es básicamente un entorno cerrado, que se desarrolla hacia una complejidad creciente como una rueda

de un vehículo: avanza porque se cierran constantemente los ciclos.

Los ciclos de los primeros materiales de la antroposfera se cerraban solos porque estaban inseridos en los ciclos naturales perdurables de la biosfera que los contenían. En estos momentos el hombre constructor ha generado diversidad de nuevos ciclos materiales que (como el de la cerámica, el del aluminio, el del petróleo, etc.) son aún imperfectos porque no están cerrados y por ello generan desequilibrios ambientales crecientes que están alterando nuestro medio ambiente generando anomalías en perjuicio de la vida de todos los ciudadanos. ¿Cómo practicar el reciclaje de los materiales, los productos o los sistemas constructivos?

Reciclar ha sido durante siglos la alternativa mejor porque extraer y transformar era complejo, lento y duro. A lo largo de la revolución industrial y muy especialmente con la generalización en Occidente de las sociedades de consumo se han invertido los procesos y reciclar se ha convertido en algo complejo, caro y minusvalorado.

La tecnología que hemos desarrollado recientemente se ha especializado en generar procesos de producción material unidireccionales basados en la consideración que la responsabilidad del productor termina en el momento de la venta.

A este fenómeno amplio se le superpone un fenómeno específico de la construcción que es la mayor vida útil de la mayoría de los materiales implicados, vida que tiende a superar a la vida legal de las empresas que los produjeron. Sin embargo, existe un importante subsector de la construcción, el de la renovación de los interiores, que genera una actividad con ciclos de usos mucho más cortos y que implica materiales con un alto valor material y energético añadido.

Se plantean pues unas preguntas de hondo calado técnico: ¿es posible reciclar los materiales de construcción sin perder habitabilidad?, ¿es posible reciclar sin obtener un nuevo producto de calidad inferior?, ¿es posible aumentar el porcentaje de material útil tras un reciclado o siempre existirán mermas? [9] [10]

Probablemente por tanto, los procesos de reciclaje deberán abordarse también a diferentes escalas:

- *macroreciclaje* (a nivel de edificio),
- *mesoreciclaje* (a nivel de sistema constructivo) [11],
- *microreciclaje* (a nivel de material) [12] [13].

## 6.3. Reutilizar

El técnico de la edificación, sea promotor, proyectista, facultativo u operario, es un profesional que ha sido modelado y educado para producir un bien, en este caso el edificio, sin focalizarse en el servicio que dicho bien presta.

Estableciendo una comparación con el sector de la alimentación, la construcción de edificios está aún focalizada en la fase primaria agropecuaria pero poco evolucionada hacia la gastronomía o la nutrición. Disponer de una visión en perspectiva de la actividad que cada uno de nosotros realiza diariamente nos debe permitir una mejor

toma de decisiones y abordar ciertos problemas con mayor capacidad. Uno de estos retos técnicos aparentemente inabordables es el de la reutilización.

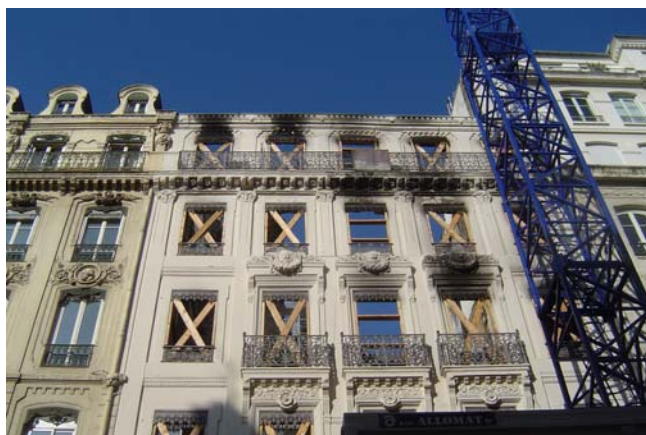


Fig. 14. Fotografía de fachada para su conservación tras el derribo de su edificio posterior en la ciudad de Lyon (2009). Fuente propia.



Fig. 15. Fotografía de la catedral de Siracusa construida sobre un antiguo templo griego; las columnas dóricas se manifiestan inseridas en los paramentos laterales. Fuente propia.

La reutilización individualizada de productos o sistemas en edificación (*mesoreutilización*) es una práctica muy poco desarrollada, tanto desde el punto de vista técnico como de su gestión. Solamente tiene una expresión comercial muy reducida en el ámbito de los elementos artísticos de los edificios que en algunos casos son recuperados y reintroducidos en el sector como objetos singulares de anticuario (dinteles, barandillas, chimeneas, alicatados, etc.). ¿Es posible plantear una reutilización a mayor escala de elementos no singulares?

Plantear un banco de materiales, productos o sistemas constructivos reutilizables requiere de un análisis previo del potencial de cada elemento constructivo y de una práctica constructiva que facilite su extracción (adecuado diseño de las uniones) y transporte al punto de distribución. Existen

algunos casos de buenas prácticas que podrían servir de base para el desarrollo de este potencial:

- Banco de mermas (*outlet*): en los procesos habituales de distribución y puesta en obra de los productos de construcción siempre quedan pequeñas series de productos por estrenar que no llegan a colocarse en obra. La entidad “Arquitectos Sin Fronteras” promocionó un banco con este perfil de productos. Esta iniciativa tiene un doble valor: aumentar la reutilización de los productos y al mismo tiempo paliar necesidades de colectivos o individuos desfavorecidos.
- Alquiler de productos de la construcción en el sector de oficinas: este sector tiene una alta movilidad por lo que es habitual de los procesos de alquiler. En estos procesos no se ofrecen tan solo los espacios sino que se pueden alquilar muebles, alfombras, mamparas, etc. Cuando finaliza el periodo de alquiler acordado el elemento constructivo (alfombra, mampara, etc.) vuelve al taller para su mantenimiento y próximo alquiler.

La reutilización de conjunto (macroreutilización) sí que está mucho más extendida en el campo de la edificación en el estado español, especialmente en el sector residencial. Son muy pocos los edificios residenciales que son finalmente derribados o abandonados. En el futuro parece que estas cifras serán aún más pequeñas porque la generalización de los sistemas de propiedad horizontal y por el cese de la emigración del campo a la ciudad. Los edificios parece que acaban siendo finalistas solamente en los casos de fuertes reconversiones, sean a escala urbana o a escala de uso.

En este sentido, la restauración monumental por parte de las entidades públicas está jugando también un papel de monitor al ejemplarizar la puesta en valor del patrimonio edificado pretérito frente a la ambición por lo nuevo que es propio de la sociedad de consumo.

Sin embargo, esta alta tasa de reutilización de los edificios conlleva en paralelo una alta tasa de sustitución de algunos de sus elementos constructivos, especialmente las instalaciones, las particiones y los revestimientos interiores. Estos elementos, a pesar de ser marcadamente más ligeros que la obra gruesa, tienen un impacto ambiental unitario mucho más elevado ya que se trata de elementos mucho más elaborados, diversificados y con un ciclo de vida menor.

#### 6.4. Transporte

El comercio ha sido a lo largo de la historia humana una de las actividades más importantes en la dinámica de las civilizaciones. La distribución irregular de las materias primeras y de las elaboradas a lo largo del planeta ha generado altos diferenciales de potencial que han motivado la movilización de grandes cantidades de energía y conocimiento para transportar estos bienes exóticos preciados hasta grandes distancias.





Fig. 16. Fotografía de camión de transporte en África Occidental.  
Fuente propia.



Fig. 17. Fotografía de transporte fluvial de mercancías en el puerto de  
Róterdam. Fuente propia.

La alta disponibilidad de energía barata a lo largo del siglo XX ha propiciado que viajaran cantidades crecientes de mercancías, pero no ya por su exotismo sino por su precio diferencial en el mercado gracias a los desequilibrios sociales del planeta. Algún trabajo académico ya ha abierto la puerta a la observación, de forma simplificada, de casos reales sobre la importancia actual del transporte y de la energía asociada [14].

Sin embargo, el transporte en sí no genera ningún valor ambiental añadido puesto que el valor físico y absoluto de un material no se modifica por muchos kilómetros que se recorran. Se trata pues de una variable que hay que reducir necesariamente desde la perspectiva de la sostenibilidad. En un mundo futuro de recursos lejanos y probablemente escasos (disputables), los recursos que sean más cercanos y que sean consumidos moderadamente otorgarán competitividad a los grupos sociales que los movilicen con tecnologías adecuadas.

## 7. Prescripción

¿Qué papeles juega el arquitecto en este terreno donde materia, energía y conocimiento se conjugan para proporcionar la habitabilidad de sus conciudadanos? Uno de los roles ambientalmente más relevantes pero que pasa desapercibido por todos, es el de prescriptor de materiales, productos y sistemas de edificación.

El arquitecto al especificar en el proyecto las diversas partidas que lo componen, protagoniza en buena parte la demanda de materiales, productos y sistemas de la edificación. Para realizar una correcta prescripción el arquitecto debería poseer una sólida información sobre las propiedades absolutas de los materiales [15], sus valores relativos [16] y su reciente evolución [17]. Los materiales, productos y sistemas de la edificación no han sido siempre los mismos sino que siguen una evolución de conjunto a través de diversos estadios identificables:

1. Materiales emergentes: a través de la publicidad, la emulación o el ansia social de novedad, confundida a veces con la originalidad, se presentan estos nuevos materiales con el respaldo de la “solución a todos los problemas actuales”. A lo largo del siglo XX se han abierto tres nuevos frentes de nuevos materiales:

- Materiales de síntesis: materiales no pre-existentes en el entorno natural y que son sintetizados por procesos físico-químicos.
- Materiales “composites”: mezcla de materiales ya existentes para obtener propiedades conjuntas nuevas.
- Materiales nanomodificados: la modificación de los materiales históricos a escala nano permite manipular en la dirección de la corrección ciertas propiedades no deseadas.

El periodo temporal transcurrido entre el desarrollo de un nuevo material y la puesta en el mercado de un nuevo producto o sistema constructivo no es inmediato puesto que requiere un proceso de desarrollo, de acreditación y de gestión.

2. Materiales maduros: aquellos que ocupan la parte principal, cuantitativa y cualitativamente, de la oferta puesto que han adquirido el grado de “commodities”, es decir ser la base común, por precio, disponibilidad y características, de la mayoría de los productos y tecnologías disponibles y asequibles en la actualidad. La arcilla cocida, el cemento, el acero o el yeso ocupan esta posición. Se trata de materiales de largo recorrido difícilmente sustituibles a corto y medio plazo.
3. Materiales en declive: materiales que han ocupado en algún momento histórico la posición central en el sector y que ahora son residuales porque alguna de sus propiedades apreciadas antaño ha pasado a ser un handicap limitante. Madera, piedra, barro o cal han sido algunos de estos materiales. Las nuevas tecnologías han vuelto a intervenir sobre estos materiales para modificar

estas propiedades limitantes (reducir su peso, aumentar su durabilidad, acelerar su endurecimiento, etc.) para recuperar su presencia central.

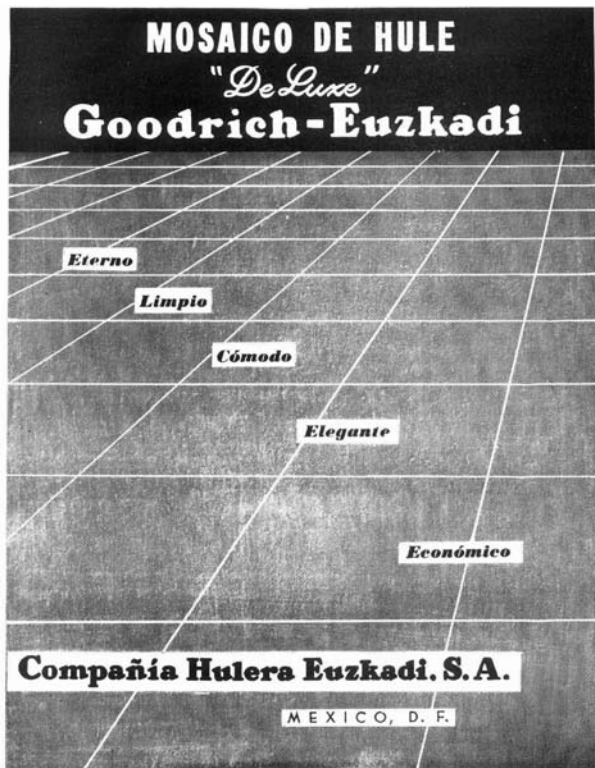


Fig. 18 y 19. Revista Arquitectura (México), n° 30.



La prescripción que realiza cada día el arquitecto no es una prescripción libre sino que se halla fuertemente condicionada por circunstancias de oportunidad:

- conocimientos e información disponible sobre los materiales ofertados,
- capacidad económica de compra,
- tradición y experiencia histórica en su uso,
- disponibilidad cuantitativa y accesibilidad por transporte,
- compatibilidad con el resto de la obra,
- valores intangibles asociados.

Cada vez que el arquitecto prescribe un material, en el marco de las circunstancias anteriormente citadas, su demanda presiona a la oferta con el fin de que se extraiga un material, se transforme, se conforme como producto, se transporte y se ponga en obra. En general, el arquitecto no posee esta percepción de su poder de compra y actúa, generalmente, como si sus decisiones fueran ambientalmente neutras. El concepto “compra ambientalmente responsable” debería instalarse en la prescripción pero de una forma rigurosa evitando el fácil recurso del marketing a las categorías “eco”.

Una prescripción ambientalmente responsable debe presionar no tan solo sobre las fuentes de materiales sino sobre la eficiencia de sus procesos de transformación, transporte, puesta en obra y reciclaje. En este sentido, materiales muy “ecológicos” pierden parte de su bondad en procesos ineficientes donde se desperdicia material, agua y energía. Por el contrario, otros materiales poco “ecológicos” palian notablemente parte de su impacto negativo aplicando procesos altamente eficientes.

En la era preindustrial el arquitecto prescriptor actuaba con un perfil que ahora se denominaría “Km. 0”, puesto que conocía directamente a sus proveedores locales de materiales y también su capacidad concreta de respuesta en términos de logística. De un arquitecto se esperaba incluso una pericia de “ojo clínico” a la hora de admitir la materia primera como si de un cocinero se tratara al examinar un pescado fresco. Un ejemplo no muy lejano de esta práctica se puede apreciar a través de la lectura del *Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura*, documento en uso hasta la aparición de las Normas Tecnológicas de la Edificación en la década de los '70 del siglo XX. El texto estaba trufado de sistemas organolépticos para el reconocimiento de la calidad de los materiales. Ello ha perdido totalmente su sentido cuando los materiales llegan a las obras envasados, etiquetados y documentados... pero sin saber su procedencia geográfica.

Actualmente son pocos los arquitectos que aún pueden destinar su tiempo a viajar para conocer de primera mano el origen de los materiales, visitar las fábricas de productos y evaluar en ejemplos de edificios concretos el comportamiento real de dichos materiales en la obra. La red internet es el escaparate de la realidad que ha substituido a la experiencia organoléptica. ¿Cuál es pues el escenario futuro que se prefigura en la relación de conocimiento de los arquitectos con sus materiales?



La necesaria reducción del impacto ambiental derivado del uso irresponsable de los productos de construcción obliga de entrada a los arquitectos a recuperar su proximidad y conocimiento de los materiales de su entorno más inmediato. Para que ello sea factible debe establecerse una relación de complicidad entre la industria próxima al edificio que se va a construir y el arquitecto que va a proyectar y dirigir la obra. La globalización entendida cuantitativamente y no cualitativamente ha permitido que lleguen a nuestras obras productos con vocación de sustituir a los locales y no de complementarlos. Ello produce no tan solo un impacto ambiental en forma de transporte sino que además expolia la tecnología local convirtiendo a las comunidades sociales en dependientes de técnicas y recursos lejanos. Se plantea por tanto que el arquitecto prescriptor debe tener un conocimiento suficiente de la geografía económica de los materiales de construcción que prescribe.

Sin ánimo de establecer comparaciones pero sí de ejemplificar realidades, sorprende que en la península ibérica existan una inmensa variedad y cantidad de recursos líticos y al mismo tiempo, las tecnologías, que tendrían que desarrollar su aprovechamiento en forma de productos, se limiten al laminado para aplacados. El resultado es que en el mercado ibérico las piedras de origen local compiten con otras procedentes de todos los continentes puesto que el laminado valoriza preferentemente el valor estético por encima del técnico.

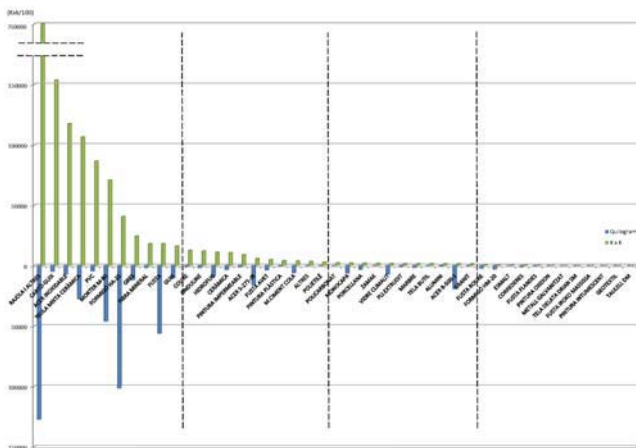


Fig. 20. Gráfico extraído de [16]. En las abscisas se representan todos los materiales presentes en la obra monitorizada. En las ordenadas inferiores el total de su masa. En las ordenadas superiores el total de su masa multiplicado por el total de kilómetros recorrido desde el punto de compra hasta la obra. La reproducción de la gráfica a esta escala no permite apreciar detalles pero sí entender que el impacto del transporte es importante pero se concentra en pocos materiales.

## 8. Constructibilidad

Si en un futuro inmediato el sector deberá replantearse el perfil de los actuales materiales de construcción a la luz de las exigencias de la habitabilidad, la industrialización y la sostenibilidad, es oportuno plantearse una pregunta de

fondo: ¿qué es realmente un producto de construcción? o dicho de otra forma, ¿por qué algunos materiales han llegado a ser productos de construcción y otros no? La industria de los materiales y productos de la construcción parece evolucionar según unas leyes que le son propias y que actúan como modeladores de los vectores de evolución. Este conjunto de leyes, que podrían agruparse bajo el concepto común de “constructibilidad”, no siempre es acorde con los criterios de la sostenibilidad. Este autor se atreve a formular algunas de las características que parece atesoran algunos productos y que les permiten ser aptos para la construcción:



Fig. 21. Fotografías comparadas de revestimientos de fachada distintos pero sincrónicos: troncos de madera (Galicia) y piezas prefabricadas de aluminio fundido (Viena). Fuente propia.

### 8.1. Durabilidad

Los productos de construcción son, comparativamente, de ciclo largo si se les asemeja con el resto de productos de la sociedad de consumo. El periodo de stock de los productos de construcción en los propios edificios es muy alto puesto que se mide en décadas. Para que ello sea posible hay que seleccionar:

- materiales muy estables,
- materiales con fácil mantenimiento,
- materiales de fácil sustitución.

Sin embargo, ello está cambiando muy rápidamente. Cada vez hay más materiales incorporados en los edificios de los cuales disponemos de menor experiencia histórica que las expectativas de vida útil que en ellos depositamos.

### 8.2. Comportamiento fiable

La arquitectura, hasta donde actualmente la concebimos, se caracteriza por ser una realidad muy estable. Aún no parece haber nacido una arquitectura capaz de reconfigurarse voluntariamente de forma controlada en el tiempo en ciclos diarios, mensuales o estacionales.



Es por ello que los materiales que la conforman deben presentar propiedades muy estables dentro del rango de solicitudes habituales. Dentro de estas propiedades las más valoradas son la estabilidad y la rigidez. Además, se requiere que los valores de estas propiedades presenten la menor dispersión posible demostrando una elevada fiabilidad y predicibilidad.

En épocas pasadas la calidad de los productos de construcción presentaba una elevada dispersión que originaba una gran incertidumbre en su comportamiento. Actualmente los productos de la construcción se presentan agrupados en estadios delimitados por clases. En contrapartida, la potenciación de determinadas propiedades (rigidez, resistencia, impermeabilidad, etc.) ha generado preponderantemente materiales de perfil muy especializado y por ello descompensado, relegando a aquellos materiales armónicos que aportaban diversas propiedades simultáneamente pero ninguna de ellas excelsa.

### 8.3. Relación óptima coste/servicio

El consumo de materiales por m<sup>2</sup> de superficie útil de edificación es elevado y como el número de m<sup>2</sup> de superficie útil habitable por ciudadano es también alto, el coste de los materiales aplicados debe ser necesariamente asequible. Ello supone siempre un freno para la incorporación en edificación de materiales de alto coste si su valor añadido no es altamente elevado.

### 8.4. Disponibilidad alta

La cantidad de masa material que necesita la construcción es elevada, aunque esta cantidad está principalmente focalizada en la parte inicial de su vida útil. Por tanto, es aconsejable utilizar materiales de disponibilidad alta y universal como el agua, la arcilla, la madera o el carbonato de calcio. Además en el proceso de transformación de estos materiales, el ratio entre material aportado y material realmente incorporado al producto debe ser alto.

### 8.5. Mayor productividad en la puesta en obra

Los edificios continúan siendo los objetos más grandes construidos por el hombre y sus dimensiones no parecen haber hallado límite cuando aún se plantean rascacielos de 500 metros de altura y naves industriales de kilómetros de longitud. Ello obliga a construirlos básicamente a pie de obra, por lo que las condiciones circunstanciales del lugar determinan fuertemente los procesos que son posibles. La magnitud de los elementos a manipular y la intemperie determinan extraordinariamente qué procesos de puesta en obra son posibles y cuáles no. En la conformación de los nuevos productos de la construcción pesa a menudo más su idoneidad para una alta productividad en la puesta en obra que sus condiciones funcionales finales dentro del edificio a lo largo de su vida útil.

### 8.6. Bajo mantenimiento

La vida requiere unos procesos de mantenimiento intensos aplicados en unos ciclos de tiempo muy cortos: alimentación, bebida, limpieza, vestido, movilidad, reproducción, salud, educación, etc. que constituyen unos costes muy elevados y no obviabiles para los ciudadanos. En este contexto se presiona para que la habitabilidad requiera un esfuerzo de mantenimiento bajo en tiempo y recursos. Para lograrlo se hace una intensa inversión inicial posible en las sociedades sedentarias con recursos excedentarios.

### 8.7. Especialización y diferenciación

La construcción sigue un intenso proceso de desagregación. Propiedades que antes estaban reunidas en un mismo material, ahora están repartidas en diversos materiales, obligando a colocar capas sucesivas de materiales diversos. Por tanto, cada vez es mayor la especialización y diferenciación de los productos.

La universalidad se va reduciendo a favor de la especificidad: el número de referencias diferentes de producto en un edificio o en un almacén de la construcción no para de crecer, aunque los “principios activos” de dichos productos sean pocos y comunes. Esta creciente diversificación del perfil de los productos ha obligado a reforzar su disponibilidad, lo cual ha tensado los sistemas de logística y distribución de los productos de la construcción.

### 8.8. Incorporación y compactación de labores

La obra no constituye un entorno de trabajo confortable ni estable por lo que cualquier labor que pueda ser trasladada previamente a un taller, lo será. Especialmente aquellas labores que permitan ganar tiempo y precisión de ejecución, sin restringir por ello la posibilidad de ulteriores acabados diversos. Otra estrategia es el sándwich como ejemplo de compactación de labores y propiedades previamente diferenciadas.

### 8.9. Rigor dimensional

Conforme aumenta la desagregación de los productos de construcción y estos se diversifican buscando una máxima especialización, aumenta también el número de uniones a realizar entre ellos. Para poder realizar adecuadamente un elevado número de uniones y con un alto grado de eficiencia y calidad, es necesario un máximo rigor dimensional de los productos a unir.

### 8.10. De material a sistema

Desde el punto de vista de la materialización de la arquitectura, hablar simplemente de materiales de construcción es hablar de algo pretérito. El aumento de la cantidad de energía y conocimiento invertidas en cada

kilogramo de material no ha cesado de aumentar en tres pasos sucesivos:

• *Paso 1: de material a producto* [18] [19]

En prácticamente una generación, los arquitectos han dejado de ver llegar a las obras los productos de construcción a granel para verlos llegar ocultos y preservados en embalajes con instrucciones impresas. Va desapareciendo prácticamente la manipulación a pie de obra de los materiales de construcción y las labores se van focalizando en procesos de montaje.

• *Paso 2: de producto a tecnología* [20]

Aunque a largo plazo el valor de un producto reside en su comportamiento instalado en la obra, existe a corto plazo un valor determinante que es su facilidad de puesta en obra. Los actuales procesos de soldadura eléctrica, de perforado autorroscante, etc. han dejado atrás a las fraguas de herreros que a pie de obra calentaban bulones, fundían bronce o templaban gafas.

• *Paso 3: de tecnología a sistema*

El salto cualitativo por el que probablemente se conocerá a la construcción más reciente será por el desarrollo de sistemas técnicos. Un sistema es un conjunto de soluciones constructivas desarrolladas en torno a una misma tecnología de producto, pensadas para adaptarla a todos los escenarios posibles.



Fig. 22. Fotografías comparadas de revestimientos de materiales simplemente cortados: losas de granito (Oporto) y cortezas de corcho (Amorín). Fuente propia.

## 9. Prospectiva de los materiales

A la luz de estas constataciones, ¿qué materiales parece que van a adquirir preponderancia o notoriedad los próximos años?

- los materiales que demuestren ciclos de vida cerrados y con bajo impacto ambiental,

- probablemente el aire, por su bajo coste y disponibilidad, tal como demuestran algunos ejemplos de estructuras inflables para puentes,
- los granulados triturados inertes,
- los actuales materiales “commodities” pero modificados nanotécnicamente para corregir y ponderar ciertas propiedades actualmente insatisfactorias; corrosión, impermeabilidad, etc.,
- los textiles, utilizados a tracción, por su elevado ratio de superficie útil/peso.

### 9.1. Materiales pasivos y materiales activos

La construcción ha sido durante siglos una disciplina muy tectónica donde los materiales se agregaban pasivamente y la geometría compositiva del conjunto garantizaba el equilibrio estático y su colaboración. El siglo XXI ha aportado, entre otros, un gran cambio en esta posición pasiva: los materiales de construcción dejan de estar para empezar a ser. Ser activos significa que los materiales pueden responder por sí mismos, de forma analógica (por sí mismos) o digital (inducida por mecanismos) a las variaciones posibles en las solicitaciones que les plantea su entorno.

La tradicional asimilación de la arquitectura a una disciplina técnica orientada al control de la formalidad geométrica (anatomía) puede ser enriquecida en los próximos tiempos por su capacidad de diseño de procesos de acción/respuesta (fisiología). Se trata aún de procesos incipientes pero que apuntan al aprovechamiento de mecanismos asimilables a los de algunos organismos de la vida. Encogerse, retener CO<sub>2</sub>, reflejar calor, etc. pueden ser procesos físicos pero voluntariamente modulables dentro del intervalo de las solicitaciones normales. Estos “tropismos” de los materiales (respuestas “activas” a solicitaciones ambientales o funcionales diversas) pueden ser activados directamente por la solicitud o bien mediante un sistema nervioso del edificio.

Esta “activación” incipiente a los materiales de construcción plantea una evolución en el rol de la materialidad de la arquitectura: cada material es actualmente un “esclavo”, fiero guardián de una propiedad (resistencia, impermeabilidad, etc.) pero puede evolucionar hacia un perfil de administrador eficiente de dicha propiedad en función del entorno. Un ejemplo concreto que lo evidencia es el caso del vidrio fotocromático que modula su transparencia en función de la intensidad de la radiación incidente.

### 9.2. ¿Materiales sostenibles?

El actual proceso de fabricación de todos los materiales y productos de la construcción tiene un notable impacto ambiental que afecta negativamente el medio ambiente. La extracción del material de su medio natural, su transformación en materia prima y el proceso de fabricación del producto dan lugar a:

- un importante consumo de energía invertido en manipulación, transformación y transporte,
- emisiones de residuos de todo tipo (sólido, líquido y gaseoso), muchas veces tóxicos, contaminantes y potencialmente peligrosos para la salud,
- una disminución de los recursos naturales al no cerrarse el ciclo de vida: inexistencia de flujos estables y permanentes que devuelvan los recursos materiales finalistas hacia las fuentes extractivas.

La sociedad occidental tiende, por tradición, a establecer juicios de carácter “maniqueista” ante cualquier conflicto, como el que nos ocupa, referente a los materiales sostenibles. Este hábito parece que ha llegado también a impregnar el mundo de la edificación y en algún momento parece que todos los arquitectos desean alejar la culpa que sobre ellos recae a través de la prescripción de materiales “puros” (los etiquetados de ecológicos y naturales) y proscribir los materiales impuros (los artificiales). En esta tesitura, los fabricantes de estos materiales etiquetados de “insostenibles” están realizando un extraordinario esfuerzo de redención para “quitarse de encima” esta valoración peyorativa que los expulsa del mercado.

Un tratamiento más riguroso del tema debe llevar a esclarecer que no existen materiales que “per se”, es decir, por cuna, sean sostenibles sino que esta cualidad es parametrizable y graduable, y es la consecuencia de un uso responsable y un adecuado comportamiento ambiental del material a lo largo de toda su vida. Esta cualidad debe ser acreditada a lo largo de todo su ciclo de vida mediante el contraste cuantitativo con parámetros reconocidos de valoración del impacto ambiental. Así pues, desde este punto de vista, no tiene sentido alguno calificar de sostenible a un material sino de valorar su *ecoeficiencia*.

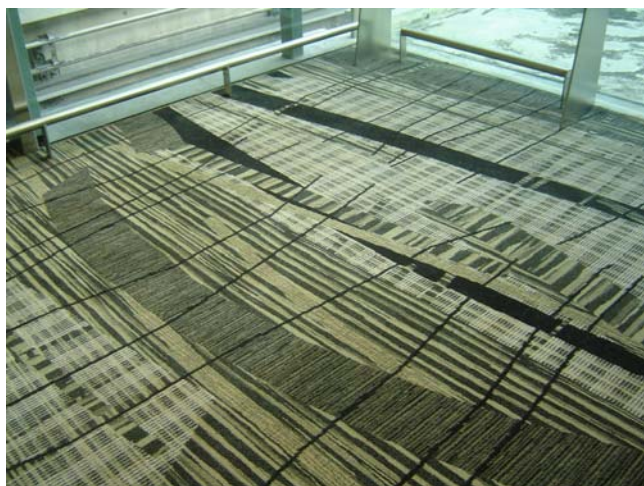


Fig. 23. Fotografía del pavimento de moqueta textil del Aeropuerto de Singapur. Sin entrar a considerar otros aspectos se valora positivamente desde la óptica ambiental su resistencia visual al despaste y a las manchas así como la facilidad de substitución por tramos. Fuente propia.

Resulta evidente que los materiales naturales parten en mejores condiciones iniciales de impacto ambiental respecto de los artificiales porque su propia perdurabilidad

histórica en el planeta así lo acredita. Sin embargo, la experiencia nos demuestra que una inadecuada gestión y aplicación de estos recursos naturales puede llevar también a su extinción. En contrapartida, los materiales artificiales no presentan esta ventaja inicial y deben por ello ser gestionados y aplicados con mucho mayor cuidado para alcanzar su mayor *ecoeficiencia* posible.

Así pues, la “responsabilidad ambiental” no recae solamente en la valoración pasiva del pecado original de cada material que llega a la obra sino que pivota principalmente en el uso responsable que de él hace el facultativo a través de los procesos técnicos de proyecto, construcción, explotación y desconstrucción final.

El uso ambientalmente responsable de un material constituye un proceso creativo y por tanto, de buena práctica susceptible de ser protocolizada y divulgada entre la comunidad de profesionales facultativos. Así pues, se puede afirmar, de entrada, que en la mayoría de los materiales y productos de la construcción, el impacto ambiental asociado es susceptible de ser ajustado al mínimo posible mediante buenas prácticas técnicas y de gestión aplicadas por prescriptores responsables. A continuación se acompañan algunos criterios divulgados por los expertos que aconsejan la prescripción de materiales:

1. **Lo más durables posible**, puesto que la suma del conjunto de sus impactos ambientales (dividendo) dividida por una elevada vida útil (divisor) determinará una intensidad menor de su impacto ambiental; los adversarios a batir para desarrollar este criterio son:

- la falta de valoración precisa, en la literatura técnica, de los comportamientos de los materiales a largo plazo,
- las dificultades de acomodar en un mismo edificio materiales con distinta vida útil.

2. **Lo más acreditados posible (disponibilidad de distintivo de calidad ambiental o “ecoetiquetas”)**, puesto que esta labor de seguimiento con rigor del impacto ambiental de un material a lo largo de su vida útil como producto y su correspondiente certificación, no puede estar en manos de un prescriptor, el cual debe estar atento principalmente a satisfacer necesidades de habitabilidad; los adversarios a batir para desarrollar este criterio son:

- los criterios diversos con que se establecen estas etiquetas,
- su ámbito de aplicación,
- el seguimiento.

3. **lo más bajos en valor de impacto ambiental cuantificado**, puesto que los actuales impactos ambientales de la industria de producción de materiales de construcción están, en general, fuertemente desbocados por falta de una suficiente tradición técnica en incorporar este criterio junto a otros ya consolidados como los de comodidad o reducción de costes



monetarios; el adversario a batir para desarrollar este criterio es la dificultad metodológica para sumar todos los impactos con una misma unidad. En esta transición las unidades de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub> están asumiendo este rol.

- 4 **Lo más reciclados posible**, puesto que cada gramo de material ya usado que se consigue incorporar a un producto nuevo resta en su práctica totalidad el impacto ambiental asociado; los adversarios a batir para desarrollar este criterio son la falta de homogeneidad por lo que respecta al desarrollo de las técnicas de reciclado, y la falta de inserción comercial de muchos residuos ya valorizados. Alguien debería recordarnos que el mismo cuerpo que nos da la vida es el producto de millones de procesos de reciclado desarrollados durante millones de años.
- 5 **Lo más ahorradores en consumo energético asociado**, puesto que los procesos actuales de transformación de las fuentes de energías disponibles son muy poco eficientes (25% en la automoción, 33% en la electricidad convencional, 70% en los sistemas de calefacción, etc.) con lo que el ahorro de cada unidad actual de energía disponible supone siempre multiplicar por un factor >1 la reducción del impacto ambiental asociado; el adversario a batir es aflorar los costes energéticos primarios.

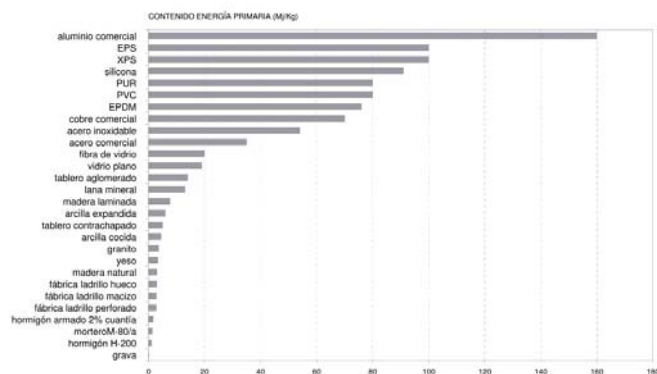


Fig. 24. Gráfico extraído del proyecto de investigación CDTI IDI-20090761. En las ordenadas se representan materiales habitualmente utilizados en fachadas de edificios. En las abscisas se representa la energía primaria invertida en el proceso de su fabricación por cada kg. resultante. A pesar nuestro en la gama alta de la gráfica se hallan la mayoría de los nuevos materiales del siglo XX.

- 6 **lo más reutilizables y/o reciclables cuando acaben su vida útil**, puesto que la cantidad de material actualmente depositado en los edificios ya construidos y en funcionamiento constituye una de las principales reservas de material de construcción fácilmente accesible; existen ciertamente otras importantes reservas cuantificadas de potenciales materiales de construcción en el planeta, pero mucho más difícilmente accesibles puesto que se hallan habitualmente en ubicaciones difícilmente accesibles

con medios normales; el adversario a batir es el desapego fuertemente arraigado entre todos por lo ya usado que, una vez superado, se transforma en ocasiones, en admiración por lo antiguo.

- 7 **Lo más fácilmente desmontables**, puesto que durante muchos siglos construir, ha sido un problema técnico orientado unidireccionalmente hacia el monolitismo, justificable tal vez por la gran estabilidad temporal de las sociedades históricas; esta estabilidad temporal se está modificando y actualmente son ya muchos los arquitectos que han tenido la experiencia vital de hacer frente al derribo, total o parcial, de un edificio anteriormente proyectado y construido por ellos mismos. La ineficiencia de los actuales procesos de derribo frente a los evolucionados procesos de construcción hace evidente que, en previsión de situaciones inmediatas, se debe reconsiderar el diseño de los actuales sistemas de unión para que sean mucho más fácilmente reversibles; el adversario a batir es el monolitismo solidario fuertemente arraigado en todos los agentes del sector de la construcción.
- 8 **Lo más estandarizados posible**, puesto que el éxito en la exigencia de una eficiencia ambiental bascula en buena parte en la capacidad para encadenar procesos técnicos; la falta, por ejemplo, de buenas prácticas de coordinación dimensional en los proyectos y en las obras, dificulta extraordinariamente la eficiencia de los procesos de suministro, mantenimiento y reutilización de elementos constructivos; el adversario a batir es la admiración fuertemente arraigada en el sector por la singularidad aparente.
- 9 **Lo más próximos posible** (para disminuir así el consumo energético asociado al transporte ya que no otorga valor alguno al producto transportado), puesto que en las décadas recientes, con la liberalización del derecho comercial y la reducción de los costes monetarios del transporte, se ha extendido la práctica de acarrear los materiales de construcción a lo largo del planeta con el sólo objetivo de buscar ventajas monetarias; no se trata tan solo de priorizar el uso de los materiales de proximidad sino también de priorizar aquellos procesos internos aplicados a los materiales que sean menos intensos en kilómetros: se puede adquirir cemento de una factoría cercana pero que moltura clínker de procedencia lejana y que a su vez utiliza margas también alejadas; el adversario a batir es la falta de una trazabilidad suficientemente transparente de los productos de construcción que cada día llegan a las obras (*designed in, made in, assembled in*, etc.).

Estás prácticas citadas y otras más han sido a menudo demonizadas en los medios de comunicación bajo el pretexto de que encarecen el coste de los productos de construcción. Ello es así a corto plazo pero no a medio y largo plazo. Los motivos de esta afirmación, corroborada por la experiencia, residen en dos factores:

- un sector industrial tensado por una nueva exigencia no prevista, como es el caso actual de la reducción del impacto ambiental, se ve generalmente obligado a reconsiderar y repensar el conjunto de todas sus prácticas en vigor, con lo que inevitablemente depura la puerta a la depuración indirecta de la totalidad del proceso habitual de producción, y aumenta finalmente su eficiencia de conjunto,
- existe un gran diferencial de valor entre la suma agregada de los costes unitarios de construcción y el valor de conjunto por el que se venden los edificios. Este margen es destinado principalmente a gratificar el riego del capital promotor, con lo cual resta poco margen para ser aplicado al desarrollo de conocimiento orientado a la mejora del proceso de producción del edificio. Si además la promoción de edificios se concibe como una actividad discontinua en el espacio y el tiempo, todo ello redundará en una falta de competitividad técnica congénita del sector de la construcción.



Fig. 25. Fotografía del apilado de residuos tras un derribo en una obra de remodelación interior. Al arquitecto le debe preocupar tanto el nacimiento de los materiales y productos de la construcción como su muerte. Evitar estas imágenes requiere previsión e innovación en la valorización de los residuos de la construcción. Fuente propia.

La prescripción de un material según los criterios anteriormente citados no es una decisión finalista. La prescripción de un material debe estar basada en una consideración de toda la vida útil a la que va a estar sometido. La herramienta de análisis más utilizada en el estudio de la repercusión ambiental global de los materiales y soluciones constructivas aplicadas en un edificio es el Análisis de Ciclo de Vida (*LCA, Life Cycle Analysis* en inglés). Este método analiza y valora ambientalmente los diferentes procesos sucesivos a que son sometidos los materiales (producción, transporte, utilización, etc.) desde su extracción en la naturaleza hasta su depósito en el vertedero y establece indicadores que cuantifican los impactos asociados: efecto invernadero, ozono, energía, residuos, etc. Sólo desde una visión amplia

de conjunto y con perspectiva temporal de futuro se pueden tomar decisiones responsables.

## 10. Proyecto de referencia

FB720 es un sistema innovador de fachada ligera, modular tipo “unitized”, que pretende aprovechar las principales ventajas de este tipo de sistemas - ligereza, facilidad de montaje y fiabilidad técnica- incrementando sus prestaciones ambientales y energéticas. El sistema se ha desarrollado a partir de los planteamientos convencionales de este tipo de fachadas, incorporando adicionalmente las siguientes innovaciones técnicas:

- Aprovechamiento del propio espesor de la fachada como protección solar mediante la colocación de la subestructura resistente (montantes) hacia el exterior.
- Integración de materiales alternativos con un menor impacto ambiental.
- Integración de un sistema de vidrios de protección solar variable especialmente desarrollado para este proyecto.



Fig. 26. Fotografías de distintos prototipos variantes del sistema de fachada FB720. Fuente: b720.

La combinación de estas estrategias es una oportunidad para hacer más visibles y notorias las acciones de mejora de la sostenibilidad promovidas desde los planteamientos arquitectónicos. El resultado final obtenido constituye una solución constructiva competitiva, tanto por su coste inicial, adecuado a proyectos de gama media y alta, como por la reducida repercusión de su superficie construida en comparación con otros sistemas de doble piel, así como por la utilización de medios pasivos de control climático. Para una reducción efectiva del impacto ambiental asociado a los materiales constituyentes del sistema de fachada se plantean tres estrategias básicas:

- Reducción dimensional mediante la optimización dimensional de los perfiles de aluminio.
- Utilización de un alto porcentaje de material de origen reciclado en la perfiles de aluminio y en el vidrio.
- Diseño de componentes mixtos que permitan la integración de materiales alternativos con un impacto ambiental reducido.

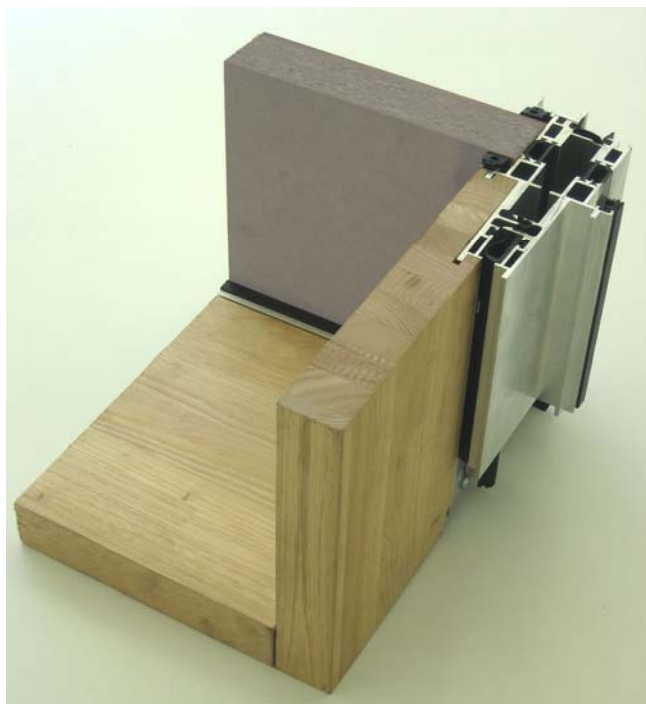


Fig. 27. Vista fotográfica de una muestra de uso de los diversos materiales alternativos ensayados. Fuente: b720.

El objetivo es el desarrollo de un sistema alternativo de fachada ligera que reduzca la dependencia excesiva del uso de materiales con un alto impacto ambiental (aluminio, acero, polímeros, etc.) a la vez que se favorece la utilización de materiales de proximidad y de origen renovable o reciclado-industrial. La subestructura propuesta se compone de un entramado de sección reducida de perfiles de aluminio con un alto contenido acreditado de material de origen reciclado que aportan las prestaciones básicas de ensamblaje, trabajo mecánico, estanqueidad e impermeabilidad. Su capacidad portante se complementa mediante unos refuerzos adicionales liberados de cualquier otra misión que no sea la meramente resistente, lo que permite la utilización de una amplia gama de materiales alternativos de mayor conveniencia medioambiental, entre los que se han ensayado la madera laminada, la “madera tecnológica” (compuesto de residuos de madera con residuos plásticos), el PVC reciclado y el UHPC (hormigón de altas prestaciones reforzado con fibras).

De forma similar, en los paneles de relleno de los módulos opacos es posible integrar también elementos alternativos con el objeto de reducir el impacto ambiental: aglomerados de fibras naturales (lana de oveja, algodón), mantas de residuos textiles reciclados, tableros conformados a partir de residuos de moquetas reutilizada o tableros laminados de yeso con fibras de papel reciclado. Esta variedad de materiales alternativos permite la adaptación del sistema constructivo FB720 al contexto económico, cultural e industrial de cada proyecto de edificio. No se trata, por tanto, de una solución técnica “cerrada” sino de un planteamiento abierto a las oportunidades que ofrece cada caso.

La fachada FB720 puede adoptar numerosas variantes que son producto de la combinación de diversos materiales, tipos de vidrio, proporción de parte transparente y distancias entre montantes. A partir de un prediseño realizado por el equipo de arquitectos, las preguntas que se formularon fueron:

- ¿Es posible realizar un análisis de ciclo de vida resumido (ACV) realizado sobre diferentes variantes de un mismo desarrollo de un nuevo muro cortina denominado FB720, cuyas alternativas se basan en distintas combinaciones de materiales (montantes exteriores, aislamiento térmico, cerramientos interiores, etc.), tipos de vidrio (incolores, estacionales, bajo emisivos, etc.), proporciones de la parte transparente del cerramiento (75% y 37%) y separaciones entre ejes de montantes (60 cm y 120 cm), todo ello para un ciclo de vida de 50 años?
- ¿Qué configuración de fachada, entre las posibles configuraciones de FB720, hace posible la máxima reducción de impacto ambiental?
- ¿Cuál es la situación del nuevo muro FB720, por lo que al ACV se refiere, en comparación con un muro cortina modular estándar (MCM), por una parte, y una fachada pesada convencional estándar (FPC), por la otra?

Para responderlas adecuadamente se formó un equipo asesor de ACV formado por el LiTA (“Laboratori d’innovació i Tecnologia a l’Arquitectura”) de la UPC y la firma consultora “Societat Orgànica” constituida por Doctores formados en la UPC. La evaluación ambiental que aquí se presenta se refiere solamente a los impactos ambientales derivados del ciclo de los materiales durante la vida útil de la fachada. La dimensión de análisis ambiental que hace referencia a su comportamiento térmico y lumínico como piel del edificio fue realizada por otro equipo técnico y no se muestra en esta publicación.

La metodología empleada en este caso fue la del ACV de procedimiento resumido, considerando que el objetivo era prestar soporte al equipo de arquitectos proyectistas en su toma de decisiones. Se adoptaron las siguientes consideraciones previas:

- Unidad funcional: 1 m<sup>2</sup> de fachada, con una vida útil de 50 años.
- Fases consideradas: producción de materiales (1), transporte (2), Construcción (3), mantenimiento (4), derribo y gestión final de residuos (5).
- Impactos evaluados: peso de los materiales [kg/m<sup>2</sup>], consumo de energía [MJ/m<sup>2</sup>], y emisiones de CO<sub>2</sub> [kg·CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>]. En algunas fases también se incluyeron los parámetros residuos sólidos [kg/m<sup>2</sup>], material reciclado o renovable en el inicio del ciclo de vida [kg/kg], material reciclable o compostable en el final del ciclo de vida [kg/kg] y toxicidad ambiental [ECA kg/kg].
- Asunciones y límites del procedimiento resumido: en (1) todas las operaciones de extracción y transporte de materias primas hasta la fábrica de materiales. El



transporte desde éstas hasta la fábrica de muro cortina, así como las operaciones propias de fabricación y montaje de sus componentes. No se incluye la consideración de la intensidad material por unidad de uso (MIPS). En (2) la utilización de los combustibles empleados por los medios de transporte. No se tendrá en cuenta el ciclo de vida de vehículos ni infraestructuras. En (3) el uso de maquinaria que consuma energía (eléctrica, gasóleo, etc.). No se tendrá en cuenta el gasto energético de la fuerza humana ni tampoco la amortización de medios auxiliares. En (4) operaciones de mantenimiento, sustitución parcial y total en el plazo de 50 años. En (5) el desmontaje del cerramiento hasta alcanzar el nivel de separación de los materiales que componen la solución constructiva y la gestión en los residuos no reciclables.

- Herramientas y bases empleadas: casi todos los cálculos se han realizado con la ayuda de hojas de cálculo estándar y sin la utilización de programas expertos. Las bases de datos sobre materiales consultadas han sido BEDEC PR/PCT del ITEC, ICE de la Universidad de Bath, EMPA del Consorcio de Universidades Públicas de Suiza, ELCD de la Unión Europea y en algunos casos ECOINVENT e IVAM mediante cálculos realizados con el programa SIMAPRO (obtenidos a partir de un proyecto de investigación del Centro de Iniciativas de la Edificación Sostenible) así como cálculos propios para la determinación del volumen y la densidad de los materiales que conforman las diferentes soluciones constructivas y de su peso específico. En cuanto a las operaciones de transporte y carga, así como la generación de residuos, se ha consultado el mismo banco PR/PCT, así como información proporcionada por fabricantes, otros estudios, cálculos y estimaciones propias.

En la conversión del consumo de energía (en kWh eléctricos o litros de gasoil) a emisiones de CO<sub>2</sub> fueron tenidos en cuenta los coeficientes de paso establecidos en los procesos de la certificación energética española; en el caso del material reciclado o renovable y reciclable o compostable, cálculos propios así como información proporcionada por fabricantes o terceras partes

Como parte del proceso de desarrollo de proyecto de la fachada FB720 se estudiaron diversas opciones de reducción de impacto ambiental, aplicables en cada etapa del ciclo de vida. Algunas de ellas finalmente no fueron incorporadas debido a que presentaban dificultades técnicas (por ejemplo, sustitución de materiales que hubieran necesitado del desarrollo de nuevas matrices de fabricación de otros ya empleados), económicas (por ejemplo, rediseño de producto y proceso de fabricación de un componente constructivo estándar que hubiera supuesto un gran gasto) o de orden práctico (por ejemplo, localización de las plantas de fabricación de materiales o productos y del propio taller de fabricación del muro cortina). A continuación, siguiendo el orden de las diversas fases del análisis del ciclo de vida, se presentan cinco alternativas de reducción de parámetros

de impacto ambiental (energía, emisiones de CO<sub>2</sub>, materiales, residuos, etc.) aunque valoradas en forma simplificada mediante el indicador de consumo de energía. Finalmente se valora la repercusión que supondría la incorporación de todas ellas en el sistema FB720.

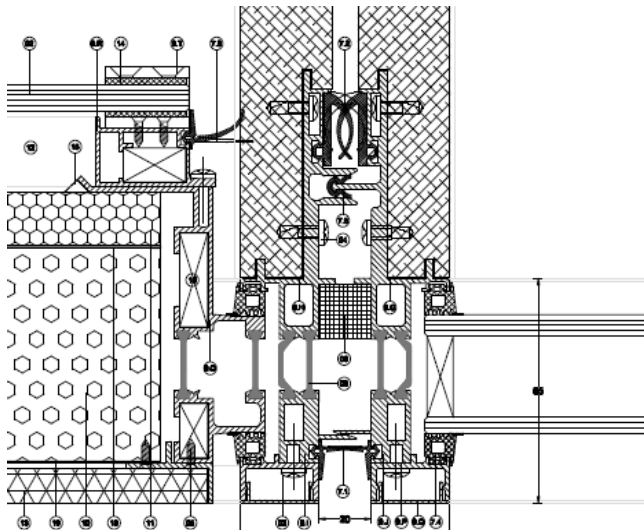


Fig. 28. Detalle técnico tipo de una de las diversas variantes de la fachada FB720. Fuente: b720.

1. **Fase de extracción-fabricación de materiales:** propuesta de cambio de algunos de los perfiles de aluminio 100% reciclado por listones de madera laminada, con el objetivo de reducir aún más su impacto ambiental. Se redefinió el detalle técnico (Fig. 28) y tomando como hipótesis la configuración de cerramiento A/II/37/120 se planteó la sustitución de hasta 2,2 kg/m<sup>2</sup> de aluminio por 3,07 kg/m<sup>2</sup> de madera laminada. Este cambio supone, respecto de la configuración original, una reducción de energía de producción de los materiales de unos 65 MJ/m<sup>2</sup>, lo que representa un 4,5% de los 1447,5 MJ/m<sup>2</sup> del consumo energético del conjunto de todos los materiales de la configuración original de esta fachada. Puede parecer un ahorro poco significativo pero comparativamente representa más de 6 veces la energía de construcción o desmontaje de la fachada (entre 11 y 12 MJ/m<sup>2</sup>).
2. **Fase de transporte:** propuesta de situar el taller de fabricación de fachadas lo más próximo posible a las áreas de grandes ciudades que presenten una demanda potencial de instalación de muro cortina, tanto en obra nueva como en sustitución. Con esta medida se persigue alcanzar una reducción del consumo de combustibles utilizados por los camiones que se desplazan entre la fábrica y las obras, disminuyendo tanto la energía consumida como las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas. Se ha considerado una disminución de la distancia considerada en el estudio (750 km desde Olot, donde se encuentra el taller de fabricación de fachadas, hasta Madrid, que es una de las localizaciones de las hipotéticas obras a atender) del orden de 10 a 1, es

decir, reducir el trayecto anterior hasta sólo 75 km (para ello el taller de fabricación se ha situado hipotéticamente en Toledo, manteniendo la obra en Madrid). La situación inicial suponía un consumo de gasoil de 2,44 litros/m<sup>2</sup>, que representan 102,71 MJ/m<sup>2</sup>. La disminución de 751 a 75 km en el trayecto taller-obra supone un consumo de gasoil de 0,74 litros/m<sup>2</sup>, que representa 31,31 MJ/m<sup>2</sup>. La reducción conseguida es de 71,40 MJ, que es el 69,5% del total de la energía de la fase de transporte.



Fig. 29. Fotografía de conjunto de las variantes consideradas durante el desarrollo del prototipo. Fuente: b720.

3. **Fase de construcción:** propuesta de materiales de embalaje reutilizables y 100% reciclables. En la puesta en obra del sistema FB720, casi no se generan residuos de construcción porque las operaciones en obra se limitan a anclar el cerramiento a la estructura del edificio. Los residuos principales son, por tanto, los materiales empleados en el embalaje de los paneles de fachada. Estos materiales suponen un doble impacto: el de su producción (extracción-fabricación) y el de su gestión final como residuos (separación, carga,

transporte y tratamiento final). En términos de consumo de energía, la producción de los materiales de embalaje utilizados (principalmente polietileno, espuma sintética, madera y acero) representan 3,78 MJ/m<sup>2</sup>. La gestión de los residuos generados por estos embalajes desechables tiene un impacto energético de 0,51 MJ/m<sup>2</sup>. El ahorro de energía que supondría utilizar un sistema de embalaje reutilizable y reciclable se estima en un 80% de dicho consumo, teniendo en cuenta un mínimo de cinco usos y un reciclaje completo (con lo que se evita la gestión final pero no el consumo de energía de los procesos de la carga y transporte). El consumo de energía en esta fase, bajo la hipótesis anterior, se podría ajustar hasta 0,78 MJ/m<sup>2</sup>.

4. **Fase de mantenimiento:** propuesta de aumentar la vida útil de toda la fachada de 35 a 50 años. En la hipótesis inicial de este estudio se había previsto, a partir de los conocimientos existentes en el mercado sobre la durabilidad de los muros cortina existentes, el reemplazo casi total de la fachada a los 35 años. Este es el caso de los muros cortina construidos en los años '70 del S. XX, cuyos fallos principales son la pérdida de estanqueidad por deterioro de las juntas y unas escasas prestaciones de aislamiento térmico y protección solar. Sin embargo, se desconoce aún la durabilidad de los muros cortina de reciente fabricación, que podría ser superior si los materiales elásticos de las juntas demostraran una vida útil superior. La sustitución total de la fachada FB720 (actividades de remoción, carga y transporte, así como idénticas operaciones en la nueva fachada), supone un consumo energético de 442,91 MJ/m<sup>2</sup> (suponiendo que una cierta cantidad de los materiales se recuperaran y que sólo se repercute la parte proporcional a los 15 años de vida útil, desde el año 35 hasta el año 50 en este estudio). Si en cambio, se consiguiera ampliar la vida útil de la fachada hasta un periodo de 50 años (durabilidad potencialmente alcanzable en todos los materiales a excepción de las juntas y los cordones de sellado) y se prevé un resellado a los 15 años, ya considerado en el cálculo, y otro adicional a los 30 años, su repercusión energética es de apenas 0,027 MJ/m<sup>2</sup> (contando la aportación de material de sellado y los medios auxiliares de obra para su aplicación en altura). El ahorro energético por tanto puede alcanzar prácticamente el 100% del impacto de la fase.
5. **Desconstrucción:** propuesta para que los paneles de acristalamiento con cámara de aire sean completamente desmontables y totalmente reciclables. Actualmente la gestión como residuo del acristalamiento con cámara, del vidrio laminado y de los vidrios con impresiones, tintas, deposiciones, serigrafías, etc., es compleja. La composición y el tipo de juntas entre los distintos vidrios que forman los paneles no son reversibles lo cual impide recuperar los materiales originales en un estado tal que permita un reciclaje técnico y económicamente sencillo. Como resultado de ello, gran parte del vidrio utilizado en construcción no se recicla sino que se *infracicla* (se tritura y se mezcla como carga

en compuestos de calidad inferior). Lo que se persigue con esta medida propuesta es evitar un doble impacto ambiental: el ocasionado por el *infraciclado* (que se evitaría con el desmontaje y separación selectiva de los vidrios componentes) y el ocasionado por la producción de nuevos materiales (que se evitaría si se pudieran reutilizar o reciclar los acristalamientos ya existentes). El impacto ambiental energético de la fase de *desconstrucción*, aun teniendo en cuenta que la mayoría de los materiales se recuperarían para ser reutilizados o reciclados, es de 10,99 MJ/m<sup>2</sup>. Dejando a un lado el impacto de las operaciones de desmontaje, carga y transporte a un centro de reciclaje donde se desarmarían los paneles, el impacto que se podría evitar con esta medida es de 0,15 MJ/m<sup>2</sup>, correspondiente a la gestión de los residuos en vertedero (juntas y paneles de vidrio cámara) y de 0,25 MJ/m<sup>2</sup>, correspondiente al transporte desde donde se desmonta el módulo de fachada hasta el vertedero. Además, se ahorrarían hasta 204,5 MJ/m<sup>2</sup> gracias a la reutilización de los vidrios (se supone un 50% del total), porque de esta forma se evitaría la producción de material nuevo.



Fig. 30. Fotografía del prototipo durante la fase de ensayos en laboratorio.  
Fuente: b720.

La cuantificación de la repercusión de las propuestas de mejora en el ciclo de vida se muestra en la siguiente figura 31: se presenta un cuadro del conjunto de la repercusión favorable de las diferentes mejoras propuestas, en términos

absolutos y relativos (considerando un consumo energético total de la fachada FB720 de 2.278,08 MJ/m<sup>2</sup> a lo largo de todo su ciclo de vida).

Medida de mejora	Ahorro (MJ/m <sup>2</sup> )	% ahorro s/total
1. Sustitución de perfiles de aluminio por madera	65,00	2,85%
2. Taller de fachada próximo a la obra (75 Km)	71,40	3,13%
3. Embalaje reutilizable y materiales reciclables	3,43	0,15%
4. Vida útil de las juntas extendidas a 50 años	442,91	19,44%
5. Paneles de vidrio totalmente desmontables	204,90	8,99%
<b>Totales</b>	<b>787,64</b>	<b>34,57%</b>

Fig. 31. Cuadro del conjunto de la repercusión favorable de las diferentes mejoras propuestas, en términos absolutos y relativos.

Aunque las diversas medidas de mejora propuestas suponen grados de dificultad de puesta en práctica muy diferentes (no es lo mismo relocalizar un taller de fabricación de fachadas que desarrollar un nuevo embalaje), se constata que existen suficientes oportunidades de mejora con repercusión y que, combinadas entre sí, pueden aportar un ahorro de hasta un tercio del total de la energía inicial.

## 11. Conclusiones

Una mayor consciencia por parte del arquitecto de las repercusiones medioambientales que pueden ocasionar un uso irresponsable de los recursos materiales al servicio de la arquitectura no sólo refuerza el carácter social de su actividad sino que puede estimular su creatividad y espolear una arquitectura más innovadora que aporta valores dinámicos en sintonía con la vida que alberga.

Una reflexión muy precisa y focalizada sólo en los materiales de construcción podría llevarnos a simplificar una realidad que siempre resulta más compleja que cualquier aproximación disciplinar experta. Efectivamente, el uso de materiales, productos y sistemas constructivos con un alto grado de *ecoeficiencia* es una condición necesaria pero no suficiente para conseguir un grado notable de sostenibilidad ambiental a escala de edificio.

Un uso cuantitativamente excesivo de material, unas uniones mal diseñadas, un transporte ineficiente o una mala gestión del uso final del edificio pueden ser malas prácticas que contrarresten en el balance global las buenas prácticas ambientales iniciales que conlleva la prescripción de productos de construcción altamente *ecoeficientes*. En este sentido, la industrialización, con su riguroso método de trabajo disciplinar, puede colaborar en la metodología de cuantificación y limitación de los impactos ambientales en todas las escalas.

## Glosario

*ACV, Análisis de ciclo de vida*: el análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida



mediante la cuantificación del uso de recursos ("entradas" como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales ("salidas" al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando. El Análisis del Ciclo de Vida de un producto típico tiene en cuenta el suministro de las materias primas necesarias para fabricarlo, transporte de materias primas, la fabricación de intermedios y, por último, el propio producto, incluyendo el envase, la utilización del producto y los residuos generados por su uso.

*Análisis de Flujos de Materiales (Flow Material Analysis):* el análisis de flujos de materiales permite conocer de forma cuantitativa y cualitativa la interacción de los diversos *inputs* y *outputs* de materiales que intervienen en el proceso de producción concreto que se desea estudiar, el cual debe estar deslindado en el tiempo y en el espacio.

*Byte:* es una secuencia de bits contiguos, cuyo tamaño depende del código de información o código de caracteres en que sea definido. Se usa comúnmente como unidad básica de almacenamiento de datos en combinación con los prefijos de cantidad. Originalmente el byte fue elegido para ser un submúltiplo del tamaño de palabra de un ordenador, desde cinco a doce bits. La explosión de las microcomputadoras basadas en microprocesadores de 8 bits en los años 1980 ha hecho obsoleta la utilización de otra cantidad que no sean 8 bits.

*Commodities:* originalmente en economía el término se refiere a cualquier mercancía, considerada como producto para uso comercial pero generalmente se hace énfasis en productos genéricos, básicos y sin mayor diferenciación entre sus variedades (madera, cemento, azúcar, etc.).

*Constructibilidad:* es la aptitud de una técnica para resolver el conjunto de requerimientos que se exigen a un sistema constructivo. Para ser considerado útil, oportuno e idóneo para ser utilizado en la realización de obras de construcción.

*Declaraciones Ambientales de Producto, DAP:* las Declaraciones Ambientales de Producto (*Environmental Product Declaration, EPD*) se fundamentan en unas directrices ISO y tienen como finalidad aportar información cuantitativa de los impactos ambientales que comporta un producto a lo largo de su ciclo de vida. En sí mismas, no definen criterios de preferencia ambiental ni establecen requisitos mínimos a cumplir, simplemente informan. En este sentido, se trata de analizar el ciclo de vida de un material o sistema en profundidad y ofrecer esta información para la toma de decisiones de proyecto y ejecución de obras.

*Desvalorización:* en nuestra sociedad técnica de consumo los productos sufren una progresiva valorización a medida que se acercan al consumidor pero una vez finalizada su vida útil son desechados perdiendo totalmente de forma súbita su valor e incluso, en algún caso, reclamando el sufragio de una tasa económica para su tratamiento posterior como residuo.

*Ecoetiquetas:* son distintivos otorgados por la administración o por otra organización que garantizan el cumplimiento de unos criterios ambientales por parte del producto. De esta forma, el consumidor puede reconocer en

un producto etiquetado, que éste cumple unas rigurosas especificaciones ambientales exigidas por el organismo otorgador. Para cada categoría de productos hay unos criterios ecológicos que permiten la evaluación y concesión de la ecoetiqueta, que es válida durante un periodo máximo de años. El producto está siempre bajo control del organismo que otorga la ecoetiqueta.

*Habitabilidad:* es la aptitud de un hábitat físico para resolver el conjunto de requerimientos que se le exigen para sustentar las necesidades de entorno de las personas que en él habitan.

*Homo Faber:* es una locución latina que significa "el hombre que hace o fabrica". Se usa principalmente en contraposición a *Homo Sapiens*, la denominación biológica de la especie humana, locución también latina que significa "el hombre que sabe".

*Infraciclado:* se refiere a aquellos procesos de reutilización de materiales en los que el resultado es claramente inferior en calidad al material original por lo que debe utilizarse en aplicaciones menos exigentes y no se cierra realmente el ciclo de vida del material.

*LEAN construction:* es una combinación entre la disciplina de la gestión de proyectos de construcción y la aplicación de los principios y prácticas del Lean Manufacturing. Su objetivo persigue la mejora continua de los procesos de construcción para la minimización de los costes y maximización del valor del producto final definido por el cliente.

*Material:* en ingeniería, un material es una sustancia (elemento o, más comúnmente, compuesto químico) con alguna propiedad útil, sea mecánica, eléctrica, óptica, térmica o magnética.

*MIPS, "material input per unit of service":* es un concepto económico, originalmente desarrollado por el Instituto Wuppertal (Alemania) en la década de 1990. El concepto de MIPS se puede utilizar para medir la eficiencia ecológica de un producto o servicio. Su cálculo tiene en cuenta la cantidad de los materiales necesarios para producir un producto o servicio. La entrada total de material (MI) se divide por (P) el número de unidades de servicio (S).

*Producto:* en ingeniería, un producto es cualquier cosa material que se puede ofrecer a un mercado para satisfacer una necesidad técnica.

*Proyecto Sirena:* SIRENA es el acrónimo de Sistema de Información de Recursos Energéticos y Agua, y como indica su nombre, sirve para organizar la información de consumos de electricidad, gas y agua de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). SIRENA obtiene datos de diferentes seguidores de consumo que se han ido instalando en los edificios de la UPC en los últimos años. Estos datos provienen directamente del Power Studio, que es un SCADA que recoge estos datos con una periodicidad de 15 minutos. También hay datos que se introducen manualmente, provenientes de datos de facturación, estimaciones, etc. El objetivo es poder ofrecer, como mínimo, el mismo nivel de información mensual para todos los edificios y campus de la Universidad.

**Sistema constructivo:** es un conjunto de elementos (productos, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos) orientado a la resolución de un conjunto de requerimientos en una edificación.

**Sostenibilidad:** desde la perspectiva de la prosperidad humana y según el “Informe Brundtland” de 1987, la sostenibilidad consiste en la aptitud de una práctica humana de satisfacer las necesidades de la actual generación sin menoscabar la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

**TRE Tasa de retorno energético:** se conoce como tasa de retorno energético al cociente de la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario emplear o aportar para explotar ese recurso energético.



Fig. 32. La generalización de los semiproducidos en primer lugar, y de los composites con ellos desarrollados en segundo lugar, ha dado lugar a una nueva generación de residuos que requieren atención especial en el tratamiento de los residuos a pie de obra. Fuente propia.

## Bibliografía

- [1] <http://www.upc.edu/sirena/>
- [2] [http://es.wikipedia.org/wiki/Informe\\_Brundtland](http://es.wikipedia.org/wiki/Informe_Brundtland)
- [3] Tesis doctoral de Lidia Rincón Villareal, “Material Flow Analysis of the Building Sector in Lleida” leída en el año 2011 en la Universitat de Lleida, y dirigida por los profesores A. Cuchí y L. Cabeza.
- [4] <http://www.leanconstruction.org>
- [5] *La mecanización toma el mando*, Siegfried Giedion, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1978.
- [6] *Industria y Arquitectura*, Salvador Pérez Arroyo et al., Editorial Pronaos, Madrid, 1991.
- [7] Trabajo Fin de Máster (TFM) realizado por el alumno Roger Moreno Megías en el marco del Máster de Tecnología de la Arquitectura de la Universitat Politècnica de Catalunya (convocatoria febrero 2012) titulado “Estudi de l’evolució tecnològica de la vivenda social a Barcelona en la segona meitat del s.XX: Les promocions del Patronat Municipal de l’Habitatge”, <http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura/Moreno.pdf>

[8] Ponencia presentada en las II Jornadas de Investigación en Construcción realizadas en el año 2008 en el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción titulada “El rol de la publicidad de los medios de comunicación escritos, en la difusión de las innovaciones tecnológicas: las revistas profesionales de arquitectura” por Manuel Hilario Radillo-Lera consultable en <http://hdl.handle.net/2117/2546>

[9] Tesis doctoral de Gerardo Wadel leída en 2009 en el marco del Programa de Doctorado “Àmbits de recerca en Arquitectura, Energia i Medi Ambient” de la Universitat Politècnica de Catalunya y dirigida por el profesor Jaume Avellaneda con el título “La sostenibilidad en la construcción industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda” donde se aborda con la metodología LCA (análisis de ciclo de vida) el potencial de reciclaje que ofrece la construcción industrializada ligera y modular.

[10] Tesis doctoral de Luiz Enrique Maccarini Vefago leída en 2012 en el marco del Programa de Doctorado “Àmbits de recerca en Arquitectura, Energia i Medi Ambient” de la Universitat Politècnica de Catalunya y dirigida por el profesor Jaume Avellaneda con el título: “El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos.”

[11] Pol Alonso Pujol, Ponencia presentada en el marco del Congreso SBD Madrid 2010. “Observatorio Oeil: observatorio de la evolución de los interiores arquitectónicos”

[12] Gestores de Runes de la Construcción S.A. <http://www.grc.cat/>

[13] Borsa de Subproductes de Catalunya BSC), <http://www.subproductes.com>

[14] Adriana Ascaso Moreno. Trabajo de investigación realizado en 2010 en el marco de una Beca Colaboración con el Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la UPC: “Comptador quilomètric de la construcció: un nou indicador de la sostenibilitat”.

<http://hdl.handle.net/2099.1/13343> y <http://hdl.handle.net/2099.1/13349>

[15] *Propiedades de los materiales y elementos de Construcción*, Ramon Sastre, Edicions UPC, Barcelona 2010

[16] *Registro de Materiales*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya

<http://www.registredematerials.com/nouregistre.c/>

[17] Feria Ecobuild, <http://www.ecobuild.co.uk/>

[18] “Materials de Construcció”, Col·lecció la Indústria a Catalunya, 4, Roser Esteve i Oró, Generalitat de Catalunya, Departament d’Indústria i Energia, 1991.

[19] Tesis doctoral de Teresa del Rosario Arguello Mendez, “Los materiales de construcción para la edificación progresiva y mejoramiento de la vivienda popular en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Análisis ambiental y alternativas”, dirigida por el profesor A. Cuchí en el Programa de Doctorado “Àmbits de Recerca en Arquitectura, Energia i medi Ambient” de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

[20] “La materia de la arquitectura”, Joan Sabaté, artículo publicado en la revista Eupalinos, nº 8.

[21] *Mater in Progress*, Nuevos materiales, Nueva industria, Catálogo de la exposición, FAD, Ministerio de la Vivienda, 2009.

[22] *Smart Materials in architecture*, Interior architecture and Design, Axel Ritter, Editorial Birkhauser, 2007.

## Bibliografía de consulta

Anderson, J., Steele, K., Shiers, D., *The Green Guide to Specification*. 4th Edition. IHS BRE Press and Wiley Blackwell, 2009.

Aranda, A. & Zabalza, I., *Ecodiseño y análisis de ciclo de vida*, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010.

CIB Agenda XXI on sustainable construction, report publication 237.

CIB Life Cycle design of Buildings, Systems and Materials, report publication 323.

COAC, CAATB, UPC, ITEC, Institut Cerdà, *Final report of the Centre d’Iniciatives de l’Edificació Sostenible about research works on environmental impacts of building materials to develop an ecolabel system for building products* (electronic document), with financial support of the Generalitat de Catalunya, Barcelona, 2001.



Calatayud, D., Claret, C., Solanas, T., *34 Kg de CO<sub>2</sub>*, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, abril 2009.

Glover, J., *Which is better? Concrete or Wood: A comparison...* (doctoral thesis), Department of Chemical Engineering, University of Sydney, 2001.

Graedel, E. & Allenby, B., *Industrial Ecology*, AT&T Prentice Hall, New Jersey, 1995.

Hegger, M., Auch-Schweik, V., Fuchs, M., Rosenkranz, T., *Construction materials manual*, Birkhäuser, edition Detail, Munich, 2006.

Kohler, N., König, H., Kreissig, J., Lützkendorf, T., *A life cycle approach to buildings*, Birkhäuser, edition Detail, Munich, 2010.

Kotaji, S., Schuurmans, A., Edwards, S., *Life-Cycle Assessment in Building and Construction: A State-of-the-Art Report*, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 2003.

Rieradevall, J. & Vinyets, J., *Ecodiseño y ecoproductos*, Rubes Editorial, Barcelona, 1999.

Wooley, T. & Kimmins, S., *Green Building Handbook* (vol. 1 and 2), Spoon Press, London, 2000.

Wuppertal Institute for Climate Environment and Energy *Material intensity of materials, fuels, transport services* Version 2; 28.10.2003 (electronic document).

Zabalza, I., *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España* (doctoral thesis), Universidad de Zaragoza, 2010.

## Bases de datos de consulta

*ELCD database*, European Commission, Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability.  
<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>

*BEDEC database*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. (ITeC), Spain. <http://www.itec.cat/>

*EMPA database*, ETH Board, Federal Council, Switzerland.  
[http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/54731/---/l=2h](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/54731/---/l=2h)

*ICE database*, University of Bath, United Kingdom.  
<http://www.bath.ac.uk/mech-eng/research/sert/>

*ICARO, ecoproductos*, Colegio Territorial de Arquitectos de Valencia.  
<http://www.ctav.es/icaro>

*Greenguard ecoproductos*. <http://www.greenguard.com>

*DAPc*. <http://www.csostenible.net/index.php/es/productes>.